



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

**Институт
естественных наук**

**В. Х. ОСАДЧЕНКО
Я. Ю. ВОЛКОВА
Ю. А. КАНДРИНА**

ФИЛЬТРЫ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ЧАСТОТ

Учебно-методическое пособие

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЫЦИНА

В. Х. Осадченко, Я. Ю. Волкова, Ю. А. Кандрина

ФИЛЬТРЫ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ЧАСТОТ

Рекомендовано методическим советом УрФУ
в качестве учебно-методического пособия для студентов,
обучающихся по программе бакалавриата
по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика»,
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»,
27.03.01 «Стандартизация и метрология», 27.03.05 «Инноватика»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2015

УДК 621.37(07)
О-72

Рецензенты:

лаборатория полупроводников и полуметаллов
Института физики металлов УрО РАН
(заведующий лабораторией доктор физико-математических наук
М. В. Я к у н и н);

М. С. К а г а н, доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией неравновесных электронных процессов
в полупроводниках Института радиотехники и электроники РАН

Под общей редакцией В. Х. О с а д ч е н к о

Осадченко, В. Х.

О-72 Фильтры высоких и низких частот : [учеб.-метод. пособие] / В. Х. Осадченко, Я. Ю. Волкова, Ю. А. Кандрина ; [под общ. ред. В. Х. Осадченко] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 80 с.

ISBN 978-5-7996-1577-2

Рассмотрены процессы интегрирования и дифференцирования напряжений RC -цепями. На основе метода комплексных амплитуд получены формулы для комплексного коэффициента передачи для фильтров высоких и низких частот. Перед выполнением лабораторных работ производится моделирование процессов интегрирования, дифференцирования и передачи входных напряжений с помощью компьютерных программ *Electronics Workbench* и *Multisim 12.0*. В ходе работ студенты определяют модули коэффициента передачи и фазовые сдвиги между входными и выходными напряжениями с помощью цифровых функциональных генераторов и двухканальных осциллографов в диапазоне частот до 10 МГц.

Предназначено студентам, обучающимся по направлениям естественно-научного и инженерного профилей, для формирования базовых знаний в электротехнике и радиоэлектронике.

УДК 621.37(07)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений	4
Предисловие	5
1. АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ГЕНЕРАТОРЫ КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ	6
2. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ И НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ФИЛЬТРЫ	12
2.1. Дифференцирующая RC -цепь	12
2.2. Интегрирующая RC -цепь	15
Задания к лабораторной работе 3 «Исследование высокочастотного фильтра. Дифференцирующая RC -цепь»	18
Задания к лабораторной работе 4 «Исследование низкочастотного фильтра. Интегрирующая RC -цепь» ..	21
Список рекомендуемой литературы	23
Приложение 1. Описание осциллографа С1-83	24
Приложение 2. Описание генератора Л 31	53

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АМ	– амплитудная модуляция
АЧХ	– амплитудно-частотная характеристика
ВЧ	– генератор высокочастотный
ГКЧ	– генератор качающейся частоты
ГПН	– генератор пилообразного напряжения
ГФЧ	– генератор фиксированной частоты
Д	– детектор
НЧ	– низкочастотный
СВЧ	– сверхвысокие частоты
УНЧ	– усилитель низкой частоты
УПЧ	– усилитель промежуточной частоты
ФЧХ	– фазочастотная характеристика
ЧМ	– частотная модуляция
ЭЛТ	– электронно-лучевая трубка

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов 1–3 курсов инженерного и физического потоков университета. Материал, представленный в пособии, является актуальным и полезным для формирования у студентов базовых знаний в общих разделах физики и дисциплинах «Электротехника», «Основы радиоэлектроники», «Микропроцессорная техника».

В пособии на основе метода комплексных амплитуд выведены формулы для комплексного коэффициента передачи для высокочастотного и низкочастотного фильтров. Рассматриваются процессы интегрирования и дифференцирования фильтров высоких и низких частот путем сравнения периодов входного напряжения и постоянной времени RC -цепей.

Перед выполнением лабораторных работ производится моделирование процессов интегрирования, дифференцирования и передачи входных напряжений с помощью компьютерных программ *Electronics Workbench* (или *Multisim 12.0*), затем работа фильтров высоких и низких частот исследуется с помощью двухканального осциллографа. Цель работы – освоить программы моделирования электрических схем, приобрести навыки работы с осциллографом и генератором, исследовать работу фильтров высоких и низких частот, определить модули коэффициента передачи и фазовые сдвиги между входными и выходными напряжениями с помощью генератора и осциллографа в диапазоне частот до 10 МГц.

1. АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ГЕНЕРАТОРЫ КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ

Частотные характеристики различных радиоэлектронных систем и приборов позволяют получить большой объем информации, характеризующей свойства и качества этих систем или устройств: суждение о полосе пропускания (быстродействии), качестве воспроизведения входных сигналов, переходных процессах и т. д.

Если на вход исследуемого четырехполюсника А (рис. 1.1, а) подавать синусоидальное напряжение от генератора Г и с помощью вольтметров V_1 и V_2 измерять входное $U_{\text{вх}}$ и выходное $U_{\text{вых}}$ напряжения для ряда фиксированных частот f , то по полученным данным можно построить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) этого четырехполюсника в виде зависимости $K(f) = U_{\text{вых}}(f)/U_{\text{вх}}$, где амплитуда входного напряжения одинакова для разных частот (рис. 1.1, б).

Величина K называется *коэффициентом пропускания* четырехполюсника.

Полоса частот, в которой $K(f)$ изменяется менее чем на -3 Дб (K уменьшается менее чем в $\sqrt{2}$ раз), называется *полосой пропускания четырехполюсника*.

Частота нижней границы полосы пропускания называется нижней граничной частотой f_n , а верхняя граница – соответственно верхней граничной частотой f_v полосы (см. рис. 1.1).

Для упрощения построения АЧХ этим способом можно поддерживать постоянную амплитуду входного сигнала для разных частот.

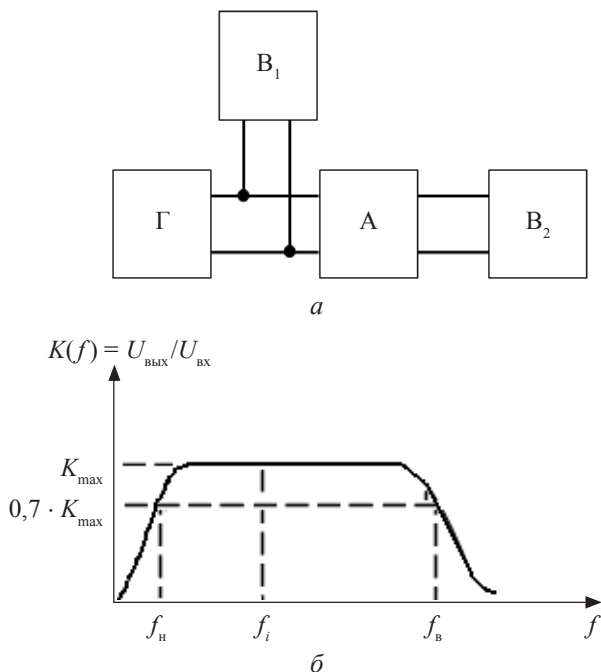


Рис. 1.1. Частотные характеристики электронных устройств:
а – схема установки для снятия частотных характеристик
 электронных устройств (А – четырехполосник, Г – генератор, В₁ и В₂ – вольтметры);
б – АХЧ четырехполосника

Тогда зависимость коэффициента пропускания четырехполосника А от частоты будет такой же, как зависимость выходного напряжения от частоты:

$$K(f) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(f)}{U_{\text{ВХ}}(f)},$$

при $U(f) = U = \text{const}$ для любых f $K(f) = U_{\text{ВЫХ}}(f)/U$.

Этот способ довольно прост, но слишком трудоемок и не используется в условиях, например, массового производства, при наладке сложных электронных устройств, при экспериментальном исследовании новых систем и т. д.

Для автоматизации процесса получения изображения частотных характеристик применяются генераторы, называемые *генераторами качающейся частоты* (ГКЧ), комбинация которых с электронным осциллографом позволяет визуально наблюдать частотную характеристику исследуемого устройства и ее изменение при вариации отдельных определяющих ее параметров.

Структурная схема подобной системы показана на рис. 1.2, а, где также приведены временные диаграммы для исследования характеристик фильтра из двух связанных контуров. В этой схеме узел ГКЧ представляет собой генератор с автоматически перестраиваемой частотой, пределы изменения которой определяются типом исследуемой схемы, а закон изменения – законом модулирующего напряжения (рис. 1.2, б).

Модулирующее напряжение $U_{\text{м}}$, имеющее вид равнобокой «пилы», получаемое с выхода генератора пилообразного напряжения (ГПН), одновременно используется для управления лучом трубки осциллографа по горизонтальной оси (рис. 1.2, б).

Если модуляционная характеристика ГКЧ линейна, то выходная частота будет также линейно изменяться на $\pm\Delta$ около среднего значения f_0 (рис. 1.2, в), за которое в данном случае принимается резонансная частота фильтра. Напряжение $U_{\text{к}}$, снимаемое с контура и изменяющееся с частотой по закону резонансной кривой этого контура (рис. 1.2, г), выпрямляется детектором Д и после *усилителя низкой частоты* (УНЧ) подается на вертикально отклоняющие пластины *электронно-лучевой трубки* (ЭЛТ).

Если перемещение луча по оси X будет изменяться по тому же закону, что и частота ГКЧ, то луч будет вычерчивать на экране изображение частотной характеристики в некотором масштабе (рис. 1.2, д).

Описанные ГКЧ очень часто используют для решения таких измерительных задач, как определение добротности колебательных систем, отбраковка резисторов на сверхчастотных частотах (СВЧ), определение потерь и т. д.

Сочетание осциллографа с ГКЧ (свип-генератором) позволяет быстро, точно и наглядно получать на экране осциллографа частотные характеристики различных устройств. Применяющиеся

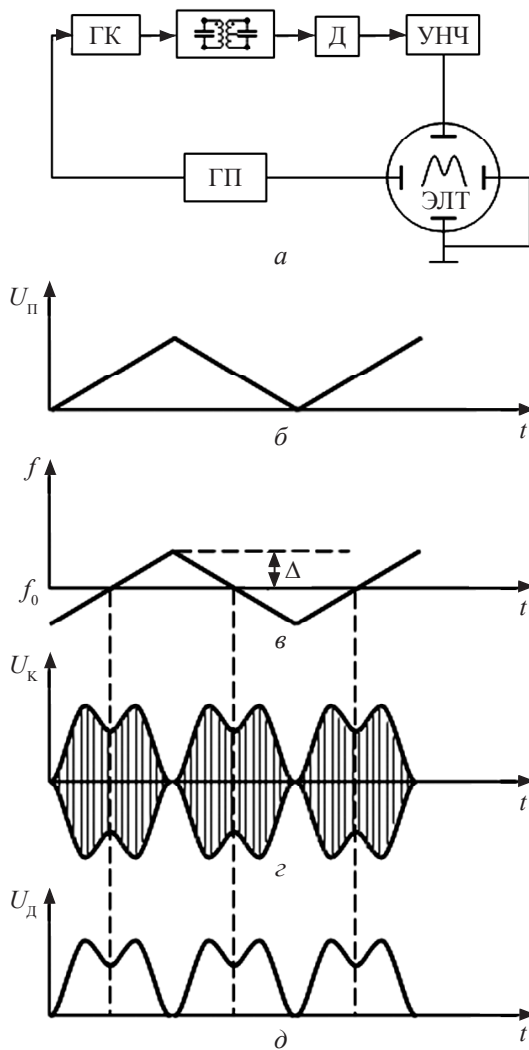


Рис. 1.2. Структурная схема измерителя частотных характеристик и временные диаграммы, поясняющие его работу:

a – структурная схема измерителя частотных характеристик; *б* – временная диаграмма модулирующего напряжения U_{Π} ; *в* – временная диаграмма выходной частоты f ; *г* – временная диаграмма напряжения, снимаемого с контура U_{κ} ; *д* – временная диаграмма напряжения, выпрямленного детектором $U_{\text{д}}$

для этой цели приборы называются измерителями АЧХ. Они относятся к подгруппе X , виду 1 и обозначаются $X1$.

Напряжение генератора развертки поступает на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ и одновременно – на ГКЧ. Последний подключен к входу испытуемого объекта, выход которого через детектор подается на вертикально отклоняющие пластины трубки. Напряжение развертки модулирует по частоте колебания, создаваемые ГКЧ, и одновременно отклоняет луч по горизонтали. Таким образом, горизонтальное отклонение луча происходит в такт с изменением частоты, поступающей на вход испытуемого объекта, и теперь горизонтальная линия на экране ЭЛТ является не осью времени, как обычно, а осью частоты. Выходное напряжение испытуемого четырехполосника зависит от частоты, и если после детектирования это напряжение подать на вертикально отклоняющие пластины осциллографа, то на его экране появится осциллограмма, представляющая зависимость выходного напряжения от частоты, т. е. АХЧ.

Форма изменения напряжений развертки и модулирующего сигнала может быть различной, но чаще всего она пилообразная или треугольная. В первом случае на экране видна одна частотная характеристика, во втором – две, являющиеся зеркальными относительно друг друга, благодаря чему легко и удобно сравнивать симметрию левой и правой ветвей характеристики.

Максимальное модулирующее напряжение определяет девиацию (отклонение) частоты, а его частота – частоту свипирования (повторения модуляции). Частота модуляции и развертки обычно низкая – 25, 50 или несколько сотен Герц. Частота свип-генератора отклоняется от центральной либо при помощи реактивной лампы, либо изменением индуктивности катушки контура генератора. Последнее осуществляется путем изменения магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника катушки, помещенного в модулирующий магнитный поток.

К подобным приборам предъявляются следующие основные требования: большие пределы изменения центральной частоты, т. е. широкий диапазон частот; возможно большая девиация частоты;

независимость девиации от настройки центральной частоты генератора; постоянство выходного напряжения генератора в пределах девиации частоты.

Промышленностью выпускается более десяти типов приборов для исследования частотных характеристик, перекрывающих почти весь используемый в радиосвязи и вещании диапазон частот (от 20 Гц до 1500 МГц). Некоторые низкочастотные приборы комплектуются двухкоординатным самопишущим потенциометром (например, типа ПДС-021), который позволяет записывать частотные характеристики на диаграммной бумаге.

2. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ И НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ФИЛЬТРЫ

2. 1. Дифференцирующая RC -цепь

Цепь, состоящая из последовательно включенных конденсатора емкостью C и резистора с сопротивлением R , называется RC -цепью. Одной из основных характеристик RC -цепи является величина $\tau = RC$, имеющая размерность времени.

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 2.1. Здесь U_1 – входное напряжение, а выходное напряжение U_2 снимается с резистора. При этом мы считаем, что прибор, которым измеряется выходное напряжение, имеет бесконечно большое входное сопротивление и ток через него не идет.

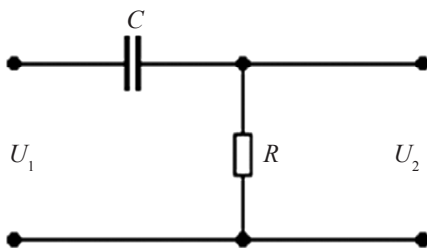


Рис. 2.1. Дифференцирующая RC -цепь

По второму правилу Кирхгофа

$$U_1(t) = \frac{1}{C} \int Idt + RI,$$

где I – входной ток.

Дифференцируя по времени (при $R = \text{const}$), получаем

$$\frac{dU_1}{dt} = \frac{1}{C} I + R \frac{dI}{dt} = \frac{1}{RC} RI + \frac{d(RI)}{dt} = \frac{1}{RC} U_R + \frac{dU_R}{dt} = \frac{1}{\tau} U_R + \frac{dU_R}{dt}.$$

Таким образом, приходим к выражению

$$\frac{dU_1}{dt} = \frac{1}{\tau} U_2 + \frac{dU_2}{dt},$$

так как выходное напряжение U_2 в данном случае равно напряжению на сопротивлении U_R .

При $\tau \rightarrow \infty$: $\frac{1}{\tau} U_2 \ll \frac{dU_2}{dt}$, $\frac{dU_1}{dt} \approx \frac{dU_2}{dt}$, т. е. $U_1 \approx U_2$. Это прибли-

жение реализуется в случае быстрых сигналов $\left(\frac{dU_1}{dt} \gg \frac{U_1}{\tau} \right)$, для которых $\tau \gg 1/\omega$, или, по-другому, $\tau \gg T$ (ω – циклическая частота сигнала, T – период). В этом случае цепь используется для передачи изменений сигнала без передачи постоянной составляющей.

При $\tau \rightarrow 0$: $\frac{dU_2}{dt} \ll \frac{1}{\tau} U_2$ и $\frac{dU_1}{dt} \approx \frac{1}{\tau} U_2$, т. е. $U_2 \approx \tau \frac{dU_1}{dt}$. Следовательно, при малых τ такая RC -цепь осуществляет дифференцирование входного сигнала. Это приближение реализуется в случае медленных сигналов $\left(\frac{dU_1}{dt} \ll \frac{U_1}{\tau} \right)$, для которых $\tau \ll 1/\omega$ или $\tau \ll T$.

Для гармонической ЭДС аналогичный результат легко получить, вычисляя коэффициент передачи цепи по напряжению, который определяется следующим образом:

$$\gamma = \frac{U_2}{U_1} = \frac{|U_2| \exp i\varphi_2}{|U_1| \exp i\varphi_1} = |\gamma| \exp i\varphi,$$

где $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Коэффициент передачи цепи показывает, какая часть входного напряжения передается на выход цепи. При этом модуль $|\gamma|$ и аргумент $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ (равный фазовому сдвигу между напряжениями на выходе и входе) являются вещественными функциями частоты. Зависимость модуля коэффициента передачи от частоты называется АЧХ цепи, а зависимость аргумента коэффициента передачи от частоты – фазочастотной характеристикой (ФЧХ).

Так как в нашем случае импеданс цепи $Z = X_C + R$, то для входного напряжения получим

$$U_1 = IZ = I(X_C + R) = I\left(\frac{1}{i\omega C} + R\right).$$

Выходное напряжение, как уже упоминалось, $U_2 = IR$. Следовательно,

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{1}{i\omega\tau}}.$$

При $\tau \ll 1/\omega$ (случай медленных сигналов) $\gamma \approx i\omega\tau$. При этом сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями (аргумент γ) равен $\pi/2$, что эквивалентно дифференцированию.

При $\tau \gg 1/\omega$ (случай быстрых сигналов) $\gamma \approx 1$, т. е. сигнал проходит без искажений.

В общем случае модуль и аргумент коэффициента передачи будут равны соответственно

$$|\gamma| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2\tau^2}}}, \quad \varphi = \arctg \frac{1}{\omega\tau}.$$

При достаточно больших частотах, когда $\omega \gg 1/\tau$ и $\omega \rightarrow \infty$, $\frac{1}{\omega^2\tau^2} \rightarrow 0$, тогда $|\gamma| \rightarrow 1$.

При малых частотах, когда $\omega \ll 1/\tau$ и $\omega \rightarrow 0$, $\frac{1}{\omega^2\tau^2} \gg 1$, тогда $|\gamma| \rightarrow 0$.

Эта зависимость качественно показана на рис. 2.2.

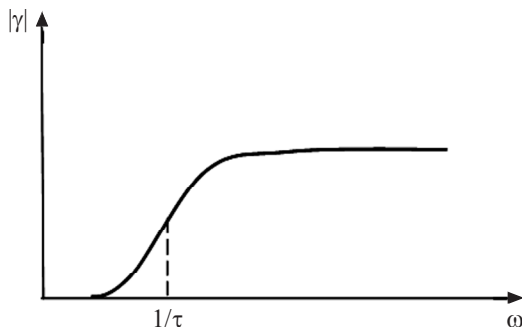


Рис. 2.2. АХЧ фильтров высоких частот

Представленная на рис. 2.2 зависимость характерна для фильтров высоких частот, которые пропускают высокие частоты и не пропускает низкие.

2.2. Интегрирующая RC -цепь

Рассмотрим случай, когда выходным звеном RC -цепи является конденсатор (рис. 2.3).

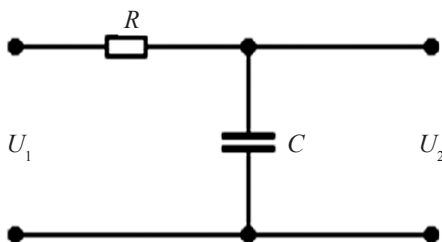


Рис. 2.3. Интегрирующая RC -цепь

Тогда, аналогично первому случаю,

$$U_1 = IR + U_C, \quad U_C = \frac{1}{C} \int Idt.$$

Из последнего равенства получаем

$$I = C \frac{dU_C}{dt}, \text{ откуда } U_1 = RC \frac{dU_C}{dt} + U_C.$$

Поскольку в данном случае $U_2 = U_C$, то приходим к выражению

$$U_1 = \tau \frac{dU_2}{dt} + U_2.$$

При $\tau \rightarrow 0$ (для медленных сигналов) $U_2 \approx U_1$. Такие сигналы цепь пропускает без искажений.

При $\tau \rightarrow \infty$ (быстрые сигналы)

$$U_1 \approx \tau \frac{dU_2}{dt} \text{ или } U_2 \approx \frac{1}{\tau} \int U_1 dt,$$

т. е. происходит интегрирование входного сигнала. Поэтому данная цепь называется интегрирующей.

Коэффициент передачи интегрирующей цепи равен

$$\gamma = \frac{X_C}{R + X_C} = \frac{\frac{1}{i\omega C}}{R + \frac{1}{i\omega C}} = \frac{1}{1 + i\omega CR} = \frac{1}{1 + i\omega\tau}.$$

При $\omega \ll 1/\tau$ (медленные сигналы) $\gamma \approx 1$. При $\omega \gg 1/\tau$ (быстрые сигналы) $\gamma \approx -\frac{i}{\omega\tau}$ и аргумент γ равен $-\pi/2$, что соответствует интегрированию.

В общем случае выражения для модуля и аргумента коэффициента передачи интегрирующей цепи имеют следующий вид:

$$|\gamma| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}}, \quad \varphi = -\arctg(\omega\tau).$$

При достаточно больших частотах, когда $\omega \gg 1/\tau$ и $\omega \rightarrow \infty$, $\omega^2\tau^2 \gg 1$, $|\gamma| \rightarrow \frac{1}{\omega\tau}$, $\varphi \rightarrow 0$.

При малых частотах, когда $\omega \ll 1/\tau$ и $\omega \rightarrow 0$, тогда $|\gamma| \rightarrow 1$.

Данная зависимость качественно показана на рис. 2.4.

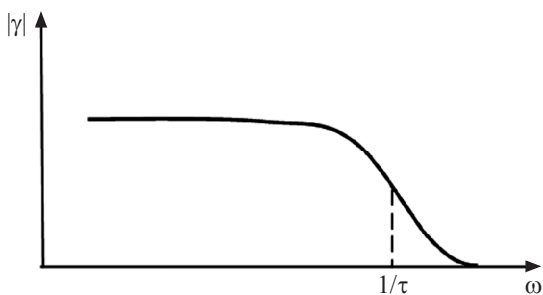


Рис. 2.4. Амплитудно-частотная характеристика фильтров низких частот

Представленная на рис. 2.4 зависимость характерна для фильтров низких частот, которые пропускают низкие частоты и не пропускает высокие.

Задания к лабораторной работе 3
«Исследование высокочастотного фильтра.
Дифференцирующая RC -цепь»

1. Построить схему дифференцирующей RC -цепи, используя программу моделирования электрофизических процессов *Electronics WorkBench*, как показано на следующем рисунке. К входу и выходу цепи подключить осциллограф и АЧХ-метр.

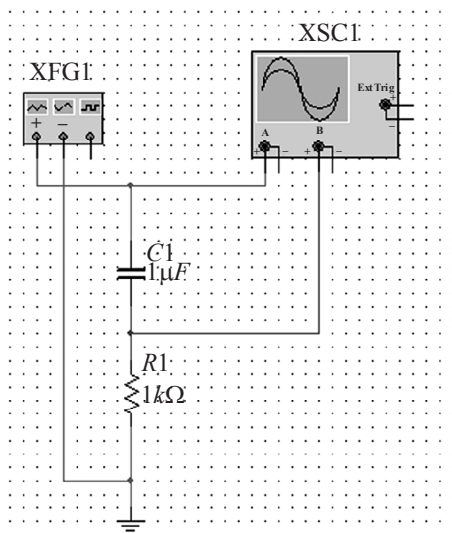


Схема для измерения параметров дифференцирующей RC -цепи

2. Для значений R и C , заданных преподавателем, рассчитать постоянную времени τ . Исследовать моделированием зависимости $|Z|$ – модуля импеданса (полного сопротивления) цепи, $|\gamma|$ – модуля коэффициента передачи, φ – аргумента коэффициента передачи

от частоты с помощью осциллографа и АЧХ-метра. Построить графики перечисленных зависимостей. Построить векторную диаграмму RC -цепи.

$$|Z|=\left|\frac{U_{\text{вх}}(t)}{I(t)}\right|=\left|\frac{U_1}{U_2}\right|R,$$

где $(U_{\text{вх}} = U_1, U_{\text{вых}} = U_2)$,

$$|\gamma|=\left|\frac{U_{\text{вых}}(t)}{U_{\text{вх}}(t)}\right|=\left|\frac{U_2}{U_1}\right|,$$

$$\arg(\gamma)=\varphi(U_{\text{вых}})-\varphi(U_{\text{вх}})=\varphi(U_2)-\varphi(U_1)=-\arg(Z),$$

$$\arg(Z)=\varphi(U_{\text{вх}})-\varphi(I_{\text{вых}})=\varphi(U_1)-\varphi(U_2).$$

3. Как изменится АЧХ фильтра при увеличении $\tau = RC$ в два раза (или увеличиваем R в два раза, или увеличиваем C в два раза, или увеличиваем R и C : $2\tau = (2R)C = R(2C) = (\sqrt{2}R)(\sqrt{2}C)$. Проанализировать форму выходного сигнала для различных значений R и C . Результаты анализа занести в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

R	C	τ	Вид входного и выходного сигналов

4. Проанализировать форму выходного сигнала при различных частотах входных сигналов прямоугольной формы с заполняемостью 50 %. Результаты занести в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

f	Вид входного и выходного сигналов

5. Собрать и зарисовать схему дифференцирующей RC -цепи, используя реальные приборы. Исследовать в реальной цепи частот-

ные зависимости коэффициента передачи, модуля импеданса и угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями. Сравнить функциональные зависимости реальных результатов и результатов моделирования. Построить их на одном графике. Объяснить возможные отклонения в поведении.

6. Рассчитать модуль и аргумент коэффициента передачи по значениям емкости конденсатора и сопротивления резистора для одной частоты из полосы пропускания. Определить систематическую погрешность рассчитанных величин. Измерить на этой частоте модуль и аргумент коэффициента передачи. Вычислить систематическую погрешность измерения. Сравнить рассчитанные ранее и измеренные значения.

Задания к лабораторной работе 4
«Исследование низкочастотного фильтра.
Интегрирующая RC -цепь»

1. Построить схему интегрирующей RC -цепи, используя программы моделирования электрофизических процессов *Electronics WorkBench* или *Multisim*, как показано на рисунке в задании 2. К входу и выходу цепи подключить осциллограф и АЧХ-метр.

2. Для значений R и C , заданных преподавателем, рассчитать постоянную времени τ . Исследовать моделированием зависимости модуля импеданса (полного сопротивления) цепи, модуля коэффициента передачи, аргумента коэффициента передачи от частоты с помощью осциллографа и АЧХ-метра. Построить графики перечисленных зависимостей. Построить векторную диаграмму (см. рисунок).

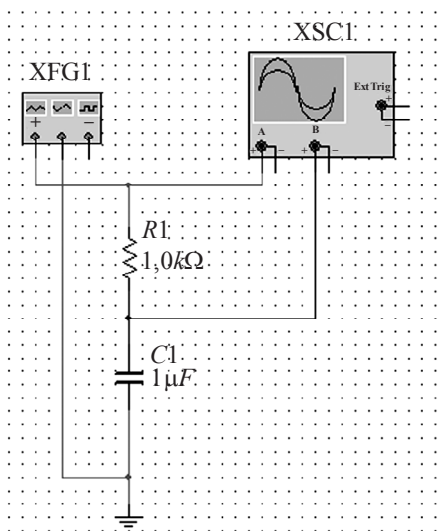


Схема для измерения параметров интегрирующей RC -цепи

3. Как изменится АЧХ цепи при увеличении τ в два раза. Проанализировать форму выходного сигнала для различных значений R и C . Результаты занести в табл. 1 (см. задания к лабораторной работе 3).

4. Проанализировать форму выходного сигнала при различных частотах входных сигналов треугольной формы с заполняемостью 50 %. Результаты занести в табл. 2 (см. задания к лабораторной работе 3).

5. Собрать и зарисовать схему интегрирующей RC -цепи, используя реальные приборы. Исследовать в реальной цепи частотные зависимости коэффициента передачи, модуля импеданса и угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями. Сравнить функциональные зависимости реальных результатов и результатов моделирования. Построить их на одном графике. Объяснить возможные отклонения в поведении.

6. Рассчитать модуль и аргумент коэффициента передачи по значениям емкости конденсатора и сопротивления резистора для одной частоты из полосы пропускания. Определить систематическую погрешность рассчитанных величин. Измерить на этой частоте модуль и аргумент коэффициента передачи. Вычислить систематическую погрешность измерения. Сравнить рассчитанные ранее и измеренные значения.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Атабеков Г. И. Основы теории цепей / Г. И. Атабеков. – СПб. : Лань, 2006.

Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники : в 2 ч. Ч. 1 : Линейные электрически цепи / Г. И. Атабеков. – М. : Энергия, 2008.

Попов В. П. Основы теории цепей / В. П. Попов. – М. : Высш. шк., 2005.

Мирский Г. Я. Радиоэлектронные измерения. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г. Я. Мирский. – М. : Энергия, 1975.

Кушнир Ф. В. Радиотехнические измерения. – 3-е изд., перераб. и доп. / Ф. В. Кушнир. – М. : Связь, 1975.

Байда Л. И. Электрические измерения : учебник для вузов / Л. И. Байда, Н. С. Добротворский, Е. М. Душин ; под ред. А. Б. Фремке и Е. М. Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия ; Ленингр. отд-ние, 1980.

Макаев Е. И. Основы радиоэлектроники : учеб. пособие для радиотехн. вузов / Е. И. Макаев. – 2-е изд. – М. : Радио и связь, 1985.

Ефимчик И. К. Основы радиоэлектроники / И. К. Ефимчик, С. С. Шушкевич. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 1981.

Джонс М. Х. Электроника : практ. курс ; пер. с англ. / М. Х. Джонс. – М. : Постмаркет, 1999.

Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глузкин, А. И. Гурав. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002.

Введение в *Multisim* : руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: <http://www/electronicworkbench.com> (дата обращения: 25.08.2014).

ОПИСАНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА С1-83

1. Устройство и принцип действия

Осциллограф, структурная схема которого изображена на рис. 1, содержит следующие основные функциональные узлы:

- осциллографический индикатор – ЭЛТ;
- входные делители (аттенюаторы);
- предварительные усилители каналов I и II;
- диодные ключевые схемы;
- мультивибратор (коммутатор);

Исследуемый сигнал подается на одно из гнезд « \ominus 1 МΩ 35 pF» или одновременно на два гнезда тракта вертикального отклонения.

При помощи входных аттенюаторов выбирают величины сигналов, удобные для наблюдения на экране ЭЛТ.

Исследуемые сигналы усиливаются предварительными усилителями, в которых находятся элементы для балансировки, калибровки коэффициента отклонения « \blacktriangledown », регулировки усиления « \triangleright », а также смещения луча по вертикали « \updownarrow ».

Усиленные сигналы с выходов предварительных усилителей поступают через диодную ключевую схему на выходной усилитель Y. Управление диодной ключевой схемой производится с помощью мультивибратора. В зависимости от режима работы мультивибратора вертикальные каналы могут работать в одном из следующих режимов: «I», «...», «I \pm II», « $\longrightarrow \longrightarrow$ », «II», «X–Y».

Кроме того, в 1-м канале предварительного усилителя имеется промежуточный усилитель, с выхода которого снимается сигнал

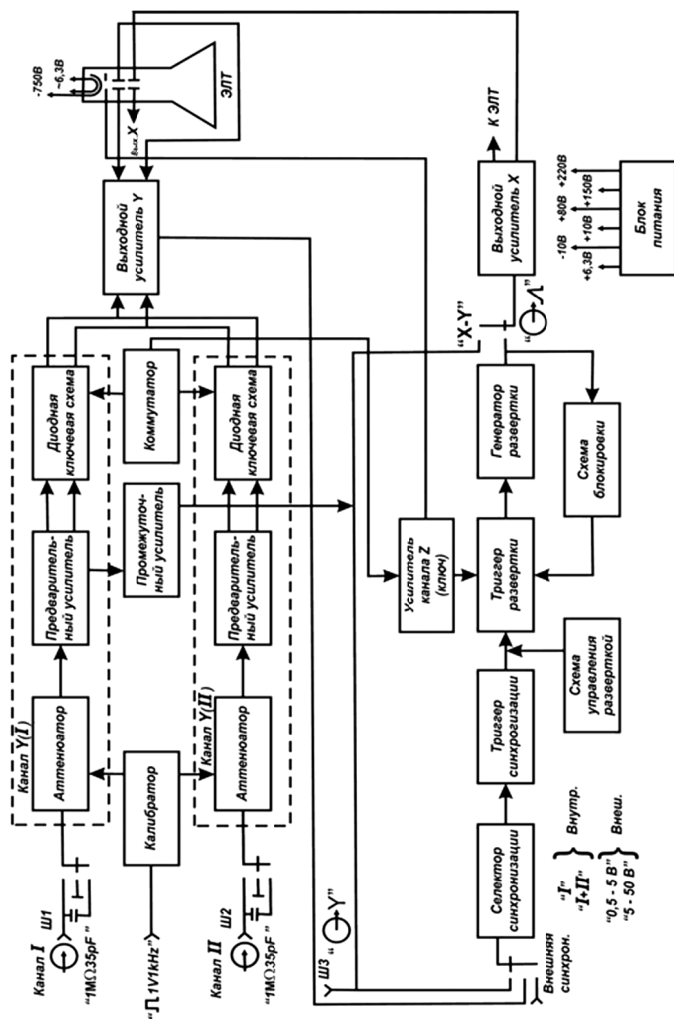


Рис. 1. Структурная схема осциллографа С1-83:

выходной усилитель Y ; промежуточный усилитель (в канале I); схема синхронизации (селектор синхронизации, триггер синхронизации и схема автоматического запуска развертки); триггер развертки; генератор развертки; схема блокировки развертки; усилитель канала II; выходной усилитель X ; калибратор; блок питания (выпрямитель, стабилизатор, низковольтный и высоковольтный источники питания)

для внутренней синхронизации от 1-го канала, а также сигнал, поступающий на внешнее гнездо, обозначенное «ШЗ», и на выходной усилитель X , при работе осциллографа в режиме $X-Y$.

Исследуемый сигнал с выхода промежуточного усилителя и выхода выходного усилителя Y поступает на селектор синхронизации, который осуществляет выбор источника синхронизации «Внутр. I», «Внутр. I, II», «Внеш.» и вид связи с источником синхронизации (открытый, закрытый).

При работе в режиме « $X-Y$ » к выходному усилителю X вместо развертки подключается выход первого канала усилителя Y . Второй канал усилителя Y подключен к входу выходного усилителя Y .

Для периодической проверки коэффициента отклонения вертикального канала и проверки калибровки длительности развертки служит калибратор амплитуды и длительности.

По сигналу калибратора осуществляется также компенсация выносного делителя напряжения 1 : 10.

Схема синхронизации усиливает исследуемый сигнал до необходимой величины и преобразует его в импульсы, запускающие генератор пилообразного напряжения. Пилообразное напряжение необходимо для временной развертки луча ЭЛТ. Генератор развертки может работать как в автоколебательном, так и в ждущем режиме. Схема блокировки предупреждает повторный запуск развертки при обратном ходе развертки и обеспечивает работу генератора развертки в автоколебательном режиме.

Усилитель развертки (выходной усилитель X) предназначен для усиления пилообразного напряжения до величины, необходимой для нормальной работы ЭЛТ. С триггера развертки прямоугольные импульсы подаются на усилитель тракта « Z » и на блокирующие пластины для гашения обратного хода развертки.

Узел питания обеспечивает всю схему необходимыми питающими напряжениями.

2. Работа составных частей

Тракт вертикального отклонения луча состоит из двух каналов и предназначен для усиления (ослабления) исследуемых электрических сигналов до необходимой величины, обеспечивающей удобное наблюдение и исследование изображения на экране ЭЛТ, без искажения формы исследуемого сигнала. Он состоит из входной цепи, входного аттенюатора, предварительного усилителя I канала, предварительного усилителя II канала, коммутатора каналов и выходного усилителя Y .

Входные разъемы Ш1 и Ш2 « \ominus 1 M Ω 35 pF», расположенные на передней панели прибора, служат для подачи исследуемого сигнала.

Переключатель входа « $\approx \perp \sim$ » в положении « \approx » (открытый вход) передает сигнал на вход аттенюатора непосредственно, а в положении « \sim » (закрытый вход) – через разделительный конденсатор C_1 (C_2).

Аттенюатор представляет собой частотно-компенсированный делитель напряжения, откалиброванный в коэффициентах отклонения V/ДЕЛ. Он имеет 11 степеней деления с коэффициентами деления 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000.


3. Подготовка к работе

3.1. Установка на рабочем месте

Протрите прибор чистой сухой тряпкой перед установкой на рабочее место. Для удобства работы с прибором ручка переноса, закрепленная на защитном кожухе, используется как подставка. Для установки ручки переноса нажмите ее одновременно в местах крепления, поверните и отпустите, зафиксировав под нужным углом. Прибор во время работы должен быть установлен так, чтобы воздух свободно поступал и выходил из него. Вентиляционные отверстия кожуха прибора не должны быть закрыты другими предметами. Помните, что прибор может питаться от сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц, от сети напряжением 115 В и 220 В

частотой 400 Гц и от источника постоянного напряжения 27 В. Убедитесь перед включением прибора в соответствии положений тумблера напряжения сети и соответствии номиналов предохранителей напряжению сети. Заземлите корпус прибора перед подключением к источнику питания.


3.2. Описание органов управления

 – для кнопочных переключателей недопустимо одновременное нажатие двух и более кнопок.


3.2.1. Расположение органов управления смотрим на передней панели прибора.

3.2.2. Органы управления ЭЛТ:

ручка  – регулирует яркость изображения;


ручка  – четкость (фокус) изображения;

ручка  – астигматизм луча;


ручка  – освещение линий шкалы на экране ЭЛТ.

3.2.3. Органы управления тракта вертикального отклонения: переключатели «V/ДЕЛ.» устанавливают калиброванные коэффициенты отклонения каналов I и II;


потенциометры «» регулируют коэффициенты отклонения каналов;


потенциометры «» обеспечивают плавную регулировку коэффициентов отклонения обоих каналов с перекрытием не менее чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей «V/ДЕЛ.»;


потенциометры «» регулируют положение лучей обоих каналов по вертикали;

« 1 МΩ 35 pF» – высокочастотные гнезда для подачи исследуемых сигналов.

Переключатели режима работы входов усилителя в положениях:

«» – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает через разделительный конденсатор (закрытый вход);

«» – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает с постоянной составляющей (открытый вход);

«» – вход усилителя подключен к корпусу.

Переключатели режима работы усилителей в положениях:
«I» – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала I;
«II», «X–Y» – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала II;
« $I \pm II$ » – на экране ЭЛТ наблюдается алгебраическая сумма сигналов каналов I и II;

«...» – на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется с частотой 100 кГц;

« $\longrightarrow \longrightarrow$ » – на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется в конце каждого прямого хода развертки.

Переключатель инвертирования сигнала во II канале в положениях:

«» – фаза сигнала не меняется;

«» – фаза сигнала меняется на 180°.

Переключатели изменения усиления каналов в 10 раз, совмещенные с ручкой « \updownarrow », в положениях:

«X I» – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора;

«X 10» – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора, умноженному на 10.

3.2.4. Органы управления синхронизации:

Потенциометр «УРОВЕНЬ» выбирает уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки.

Переключатель источника синхронизации в положениях:

«Внутр. I» – развертка синхронизируется сигналом с первого канала;

«Внутр. I, II» – развертка синхронизируется сигналами обоих каналов (или одного);

«0,5–5 Внesh.» – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 0,5–5 В;

«5–50 Внesh.» – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 5–50 В;

«X–Y» – вход усилителя X отключается от генератора развертки и подключается к I каналу усилителя Y, работа генератора развертки прекращается.

Переключатель режима работы входа синхронизации в положениях:

«» – закрытый вход синхронизации;

«» – открытый вход синхронизации.


Переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положениях:

«+» – развертка синхронизируется положительным перепадом запускающего сигнала;


«-» – развертка синхронизируется отрицательным перепадом запускающего сигнала;

«Внеш.» – гнездо для подачи внешнего синхронизирующего сигнала.

3.2.5. Органы управления разверткой:

переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» устанавливает калиброванный коэффициент развертки, когда ручка плавной регулировки установлена в крайнее правое положение «».

ручка «Плавно» обеспечивает плавную регулировку коэффициента развертки с перекрытием в 2,5 раза в каждом положении переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.»;

потенциометр «» обеспечивает перемещение луча по горизонтали;

переключатель « $\times 1$, $\times 0,2$ » увеличивает скорость развертки в положении « $\times 0,2$ » в 5 раз;

«АВТ.» – в этом режиме вырабатывается пилообразное напряжение независимо от запускающего сигнала. Синхронизация осуществляется с частотой не ниже 100 Гц;

«ЖДУЩ.» – запуск развертки осуществляется только при наличии синхронизирующего сигнала;

«Питание» – осуществляет включение и выключение прибора.

3.2.6. Органы управления и присоединения, расположенные на левой боковой стенке прибора:

гнездо «» – корпус прибора;

гнездо «Y» – выход первого канала;

« 1 V 1 kHz» – гнездо выхода калибратора;

переключатель « \perp , —» переключает выход калибратора с постоянного напряжения на переменное типа «Меандр».

3.2.7. Органы управления, расположенные на правой боковой стенке прибора:

гнездо « \perp » – корпус прибора;

гнездо « \odot » – гнездо выхода пилообразного напряжения;

« $\blacktriangledown \times I$ » – калибровка скорости развертки;

« $\blacktriangledown \times 0,2$ » – калибровка скорости развертки при растяжке.

3.2.8. На задней панели прибора расположены:

разъем «СЕТЬ» – для подсоединения шнура питания к сети или источнику постоянного напряжения;

держатели предохранителей с надписью «2А», «1А» – для предохранения при включении его в сеть;

тумблер «220 V 50 Hz, 400 Hz; 115 V 400 Hz» – для переключения питания на соответствующее напряжение сети;

тумблер « $\equiv \sim$ » – для переключения питания при работе от источника постоянного напряжения или от сети переменного тока;

гнездо « $\odot Z$ » – для подачи сигнала, модулирующего луч по яркости;

гнездо « \perp » – корпус прибора;

клемма корпусная « \oplus » – для заземления корпуса прибора.

3.3. Включение и проверка работоспособности

3.3.1. Установите ручку органов управления на передней панели в следующие положения:

« \odot » – в крайнее левое;

« \odot » – в среднее;

«V/ДЕЛ.» – «5 mV»;


« \triangleright » – « \blacktriangledown »;

« \uparrow » – в среднее;




« $\equiv \perp \sim$ » – « \perp »;

«I», «...», «I + II», « $\rightarrow \rightarrow$ », «II», «X-Y» – « $\rightarrow \rightarrow$ », «+ -» – «+»;

« $\equiv \sim$ » – « \sim »;


«» – в среднее;
« $\times 1$, $\times 10$ » – в « $\times 10$ »;
«УРОВЕНЬ» – в крайнее правое;
«АВТ., ЖДУЩ.» – «АВТ.»;
«ВРЕМЯ/ДЕЛ.» – «1 ms»;
«Синхронизация» – «Внутр. I, II».

3.3.2. Убедитесь в наличии предохранителей на задней стенке прибора и их соответствии току.

3.3.3. Установите тумблер «» в положение «», если прибор питается от сети переменного тока, и в положение «», если прибор питается от источника постоянного тока.


3.3.4. Тумблер «220 V, 115 V» переключите на соответствующее напряжение сети переменного тока. При питании прибора от источника постоянного тока положение тумблера «220 V, 115 V» не принципиально.




3.3.5. Включите тумблер «ПИТАНИЕ» на передней панели прибора. При этом должна загореться сигнальная лампочка. Дайте прибору прогреться в течение 2–3 мин. Приступите к калибровке и проверке работоспособности прибора.




3.3.6. Установите яркость изображения, удобную для наблюдения, ручкой «».

3.3.7. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «I».





3.3.8. Ручкой «» канала I совместите линию развертки с центром экрана.

3.3.9. Ручкой «» установите одинаковую четкость изображения по всей линии луча.

3.3.10. Установите переключатель «V/ДЕЛ.» канала I в положение « 6 ДЕЛ.», а ручку «» в положение «». Если величина изображения импульсов не равна 6 делениям, то откалибруйте усилитель (см. п. 4.2.2).

3.3.11. Поверните ручку «» канала I влево до упора. Величина изображения должна уменьшиться не менее чем в 2,5 раза. Возвратите ручку «» в положение «».

3.3.12. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «II» и повторите операции по пп. 3.3.8–3.3.11.

3.3.13. Установите поворотом ручки «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение на экране ЭЛТ в положениях переключателей синхронизации «+ », «- », «+ », «- .

3.3.14. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «I».

3.3.15. Переключатель рода синхронизации установите в положение «Внутр. I».


3.3.16. Проверьте наличие синхронизации по пп. 3.3.13.

3.3.17. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «...». При этом на экране ЭЛТ должны наблюдаться изображения сигналов обоих каналов.

3.3.18. Установите переключатель рода работы усилителя в положение « $\rightarrow \rightarrow$ ». При этом на экране ЭЛТ должны наблюдаться изображения сигналов обоих каналов.

3.3.19. Установите с помощью ручек «▷» изображения обоих сигналов величиной 4 деления.



3.3.20. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «I ± II». При этом на экране ЭЛТ должен наблюдаться сигнал размахом 8 делений.

3.3.21. Переведите переключатель инвертирования сигнала в канале II в положение «.

На экране ЭЛТ должна наблюдаться прямая линия.


3.3.22. Поверните ручку « \longleftrightarrow » от упора до упора. Изображение должно перемещаться по горизонтали.

3.3.23. Установите переключатель «V/ДЕЛ.» канала I в положение «20 mV», а переключатель « $\times 1$, $\times 10$ » в положение « $\times 10$ ».


3.3.24. Установите переключатель входа « \perp 


«.

3.3.25. Переключатель рода работы установите в положение «I».


3.3.26. Соедините кабелем вход канала I с выходом калибратора « \perp 1 V 1 kHz». Величина изображения импульсов должна составлять пять делений шкалы экрана.

3.3.27. Переведите переключатель рода работы усилителя в положение «II», «X–Y».


3.3.28. Соедините кабелем вход канала II с выходом калибратора « 1 V 1 kHz». Величина изображения импульсов должна составлять пять делений шкалы экрана.

3.3.29. Установите переключатель развертки в положение «1 mS», переключатель « $\times 1$, $\times 0,2$ » – в положение « $\times 1$ ». Поворотом ручки «» совместите начало периода сигнала с первой вертикальной линией экрана ЭЛТ. На всей длине экрана (10 делений) должно помещаться 10 периодов. При необходимости произведите регулировку (п. 4.2.11).



3.3.30. Установите переключатель « $\times 1$, $\times 0,2$ » в положение « $\times 0,2$ ». На всей длине экрана должно помещаться 2 периода. При необходимости произведите регулировку (п. 4.2.11).


3.3.31. Установите переключатели «V/ДЕЛ.» каналов I и II в положение « 6 ДЕЛ.» Переключатель синхронизации установите в положение «X–Y». На экране должна наблюдаться линия, представляющая собой диагональ мнимого квадрата со стороной 60 мм.

3.3.32. Произведите проверку выносного делителя напряжения 1 : 10, для чего переключатель «V/ДЕЛ.» установите в положение «20 mV», а переключатель « $\times 1$, $\times 10$ » – в положение « $\times 1$ », или переключатель «V/ДЕЛ.» в положение «2 mV», а переключатель « $\times 1$, $\times 10$ » в положение « $\times 10$ ».

Щуп делителя соедините с гнездом « 1 V 1 kHz». Величина изображения импульсов должна составлять 5 делений шкалы экрана ЭЛТ. В случае необходимости произведите компенсацию делителя (п. 4.2.4).

П р и м е ч а н и я:

1. Обозначение «» соответствует утопленному значению ручки, а «» – вытянутому значению ручки.


2. Для установления ручек в положение «» необходимо оттянуть ручку вдоль оси до упора.




4. Порядок работы


4.1. Подготовка к проведению измерений

Подготовка к проведению измерений проводится согласно п. 3.3.

4.2. Подстройка и калибровка




4.2.1. При регулировке яркости возможно нарушение фокусировки изображения. В этом случае необходима подстройка при помощи ручки «». Не устанавливайте чрезмерную яркость изображения на экране ЭЛТ во избежание прожога люминофора.

4.2.2. Для калибровки коэффициента отклонения установите переключатели «V/ДЕЛ.» в положение « 6 ДЕЛ.». Ручки «» установите в крайнее правое положение. Переключатель рода работы усилителя установите в положение «I». При этом величина изображения сигнала на экране ЭЛТ должна быть равна 6 делениям. Если величина изображения сигнала не равна 6 делениям, то потенциометром «», выведенным под шлиц на переднюю панель, установите величину изображения по вертикали, равную 6 делениям.

4.2.3. Калибровку коэффициента отклонения канала II производите в положении переключателя рода работы усилителя «II» аналогично п. 4.2.2 с помощью ручки потенциометра «», относящегося к каналу II, выведенного на переднюю панель под шлиц.

4.2.4. Для калибровки коэффициента отклонения при пользовании внешним делителем напряжения 1 : 10 сделайте следующее:

а) установите переключатели «V/ДЕЛ.» в положение «2 mV», а переключатели « $\times 1$, $\times 10$ » в положение « $\times 10$ »;

б) установите переключатели входа усилителя Y « \perp » в положение «»;

в) установите переключатель рода работы усилителя в положение I;

г) подайте импульс с гнезда « \square 1 V 1 kHz» через делитель 1 : 10 на вход канала I;

д) скомпенсируйте делитель подстроечным конденсатором на делителе 1 : 10 так, чтобы форма импульса была наиболее близкой к прямоугольной;

е) установите потенциометром «▼», выведенным под шлиц на передней панели, величину изображения импульсов по вертикали, равную 5 делениям;

ж) установите переключатель рода работы усилителя в положение «II», «X-Y»;

з) подайте импульс с гнезда « $\ominus \square 1 \text{ V } 1 \text{ kHz}$ » через делитель 1:10 на вход канала II;

и) скомпенсируйте делитель аналогично подпункту д);

к) установите потенциометром II канала «▼», выведенным под шлиц на передней панели, величину импульсов по вертикали, равную 5 делениям.

4.2.5. Способ подачи исследуемого сигнала на вход усилителя зависит от параметров сигнала. Подачу сигнала через внешний делитель напряжения 1:10 целесообразно производить в тех случаях, если нежелательно сильно нагружать исследуемую схему емкостной нагрузкой. Кроме того, делитель 1:10 более удобный в эксплуатации. Однако при использовании делителя 1:10 происходит ослабление исследуемого сигнала в 10 раз.

4.2.6. Переключателем входа « $\equiv \perp \sim$ » выбирается вид связи усилителя Y с источником исследуемого сигнала.

В положении « \equiv » связь с источником исследуемого сигнала осуществляется по постоянному току. Этот режим может быть использован, если постоянная составляющая исследуемого сигнала соизмерима с переменной составляющей.

Если же постоянная составляющая сигнала намного превышает переменную, то целесообразно выбрать связь с источником сигнала по переменному току « \sim ».

Связь по постоянному току следует применять при измерении постоянного напряжения и низкочастотных сигналов.

Выбор коэффициента отклонения усилителя Y производится переключателями «V/ДЕЛ.» и « $\times 1, \times 10$ » в зависимости от величины исследуемого сигнала и способа подачи его на вход прибора (через делитель 1:10 или прямой кабель).

4.2.7. Для работы с осциллографом в одноканальном режиме можно использовать любой из входных каналов. Исследуемый сиг-

нал подается на вход выбранного канала, а переключатель режима работы усилителя устанавливается в соответствующее положение «I» или «II», «X-Y».

Для работы осциллографа в двухканальном режиме необходимо подать сигнал на два входа и установить переключатель режима работы усилителя в нужное положение («...», « \longrightarrow » или « $I \pm II$ »).

4.2.8. При установке переключателя режима работы усилителя в положение «...» на экране ЭЛТ наблюдаются исследуемые сигналы канала I и канала II. Переключение каналов осуществляется с частотой порядка 100 кГц. Наилучший результат дает использование прерывистого режима при скоростях развертки от 0,5 мS и ниже. При более высоких скоростях развертки становятся видны моменты подключения каналов, что затрудняет наблюдение исследуемых сигналов.

В прерывистом режиме внутренняя синхронизация «Внутр.» осуществляется при установке переключателя синхронизации в положение «I». В положении «I, II» синхронизация исследуемых сигналов будет неустойчива, так как развертка будет запускаться импульсами коммутатора, переключающего каналы I и II.

Внешняя синхронизация в прерывистом режиме дает результат, аналогичный установке в положении «Внутр. I».

В прерывистом режиме можно исследовать два сигнала при наличии между ними временной зависимости. Если исследуемые сигналы независимы во времени, изображение исследуемого сигнала в канале II неустойчиво. Для правильного запуска развертки сигнал I должен предшествовать сигналу канала II.

При установке переключателя режима работы усилителя в положение « \longrightarrow » на экране ЭЛТ наблюдаются исследуемые сигналы канала I и канала II.

Переключение каналов производится после каждого прямого хода развертки, в течение первого прямого хода развертки исследуемый сигнал поступает из канала I, а в течение следующего прямого хода развертки – из канала II. Такой режим может быть использован во всех положениях переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.».

Однако при низких скоростях развертки режим поочередного переключения каналов становится видимым, что затрудняет наблюдение исследуемых сигналов. Этот режим рекомендуется использовать при скоростях развертки 0,5 мS/ДЕЛ. и выше.




В поочередном режиме внутренняя синхронизация осуществляется в любом положении переключателя рода синхронизации. В положении «I» можно наблюдать устойчивое изображение двух сигналов только при наличии временной зависимости между ними. В положении «I, II» развертка синхронизируется сигналом каждого канала и изображения двух сигналов устойчивы, даже если они независимы во времени друг от друга. Однако в этом случае нельзя определить временную связь между сигналами. В положении «Внеш.» наблюдается устойчивое изображение двух сигналов при наличии временной зависимости между ними.

В положении «I ± II» переключателя режима работы усилителя можно исследовать сумму или разность двух сигналов. В этом же режиме можно компенсировать постоянную составляющую, подавая постоянное напряжение на один канал для компенсации постоянной составляющей другого канала. При использовании усилителей каналов I и II в режиме дифференциального усилителя сигналов необходимо тщательно подстроить усиление каждого канала. Тогда можно добиться коэффициента ослабления синфазных сигналов порядка 50:1 в диапазоне частот 0–100 кГц.


При использовании режима «I ± II» следует руководствоваться следующими положениями: не превышать входное допустимое напряжение; не подавать на вход сигналов, величина которых более чем в 5 раз превышает величину, установленную переключателем «V/ДЕЛ.»

При возможности удерживать регулировку « \updownarrow » в среднем положении, это обеспечивает наибольший динамический диапазон в режиме «I ± II».

При необходимости увеличения чувствительности канала вертикального отклонения предусилитель канала I можно использовать как предварительный усилитель для канала II.



Для этого необходимо подать исследуемый сигнал на вход канала I, соединив кабелем И24.850.327-18 высокочастотное гнездо « У» на левой боковой панели и вход второго канала « I MΩ 35 pF». Переключатель режима работы усилителя установить в положение «II», а переключатели «V/ДЕЛ.» в положение «1 mV». Переключатель « $\times 1$, $\times 10$ » канала I установить в положение « $\times 1$ », а канала II – в положение « $\times 10$ ». Чувствительность канала при этом равна 0,1 мВ/дел. Переключатель входа канала II установите в положение «».

4.2.9. Внутренняя синхронизация может быть использована в большинстве случаев. В положении «Внутр.» переключателя прибора источника синхронизирующего сигнала сигнал поступает от усилителя вертикального отклонения луча либо из канала I (в положении «I»), либо после коммутатора (в положении «I, II»). О выборе источника внутренней синхронизации при двухканальном режиме было сказано выше.

Режим внешней синхронизации обеспечивается установкой переключателя вида синхронизации на передней панели в положение «Внеш.», а сигнал синхронизации подается на гнездо « Внеш.», расположенное в правом нижнем углу передней панели прибора. Для получения устойчивой синхронизации исследуемого процесса внешний сигнал должен зависеть во времени от исследуемого сигнала.


Внешний сигнал для синхронизации используется в случае, если внутренний синхронизирующий сигнал слишком мал или содержит составляющие, нежелательные для синхронизации. Этот режим удобен тем, что развертка всегда синхронизируется одним и тем же сигналом, что позволяет исследовать сигналы различной амплитуды, частоты и фазы без перестройки и регулировок синхронизации.

В зависимости от величины синхронизирующего сигнала устанавливают в соответствующее положение переключатель синхронизации.


4.2.10. Переключатель полярности синхронизации «+» установлен на передней панели прибора рядом с переключателем вида связи « ».



В положении «+» развертка запускается положительной частью синхронизирующего сигнала, в положении «-» – отрицательной. Когда на экране ЭЛТ наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала, положение переключателя полярности запуска не имеет значения. Однако при исследовании определенной части сигнала важно правильное положение переключателя полярности.


В приборе предусмотрено два режима запуска, которые позволяют выбрать определенные составляющие исследуемого сигнала для осуществления запуска схемы синхронизации.



«». В этом положении постоянная составляющая запускающего сигнала не поступает на вход схемы синхронизации, а также ослабляются сигналы с частотой ниже 50 Гц. Этот режим запуска может быть использован в большинстве случаев.

Точка запуска зависит от среднего уровня запускающего сигнала.

Если запускающие сигналы будут случайными, непериодическими, то средний уровень напряжения будет меняться, что, в свою очередь, изменяет точку запуска, а это может привести к нарушению синхронизации. В этих случаях пользоваться режимом «» не рекомендуется.

В «» положении обеспечивается устойчивая синхронизация низкочастотными сигналами, а в положении « НЧ» включается фильтр низких частот, исключающий запуск развертки высокочастотными помехами при измерении напряжений в диапазоне от 400 мкВ до 10 мВ на частотах от 1 Гц до 10 кГц.

При помощи регулировки «УРОВЕНЬ» обеспечивается запуск схемы синхронизации на любом уровне запускающего сигнала. При внутренней синхронизации «Внутр. I, II» уровень синхронизации изменяется в зависимости от положения ручки «».

Режим «» не рекомендуется использовать в положении «» переключателя режимов работы тракта вертикального отклонения, когда переключатель вида синхронизации в положении «Внутр. I, II».

Устойчивая синхронизация в этом случае обеспечивается в положении «Внутр. I» переключателя вида синхронизации. Прежде

чем установить ручку «УРОВЕНЬ», необходимо выбрать источник синхронизации, режим запуска схемы синхронизации и полярность запуска. Затем устанавливают ручку «УРОВЕНЬ» в среднее положение. Если развертка не синхронизируется в этой точке, подстраивают ручку «УРОВЕНЬ» до получения устойчивой синхронизации.

4.2.11. Для калибровки развертки установите переключатель «V/ДЕЛ.» канала I в положение « \blacktriangledown 6 ДЕЛ.» Переключатель развертки установите в положение «1 mS». Ручку, совмещенную с переключателем развертки, поверните вправо до упора.

Переключатель режима работы усилителя переведите в положение «I».

Установите на экране ЭЛТ устойчивое изображение. С помощью ручки « \longleftrightarrow » совместите один из фронтов импульса на начальном участке развертки с первой вертикальной линией на экране ЭЛТ. Отсчитайте десять периодов сигнала калибратора и потенциометром « $\blacktriangledown \times 1$ » (правая стенка прибора) добейтесь, чтобы десятый период совпадал с десятой вертикальной линией шкалы на экране ЭЛТ.

Установите « $\times 1$, $\times 0,2$ », совмещенную с « \longleftrightarrow », в положение « $\times 0,2$ ».


Переключите переключатель развертки в положение «5 mS». С помощью потенциометра « $\blacktriangledown \times 0,2$ » (правая стенка прибора) добейтесь, чтобы десять периодов сигнала совпали с десятью делениями шкалы экрана ЭЛТ.

4.2.12. Режим X–Y используется в тех случаях, когда необходимо исследовать зависимость одного сигнала от другого.

Для создания режима X–Y установите переключатель вида синхронизации в положение «X–Y», а переключатель вида работ – в положение «II», «X–Y». Подайте на гнездо « \oplus 1 M Ω 35 pF» канала I сигнал, поступающий на горизонтальный тракт отклонения.

На гнездо « \oplus 1 M Ω 35 pF» канала II подайте сигнал, поступающий на вертикальный тракт отклонения. Чувствительность по вертикальному и горизонтальному тракту соответствует положению переключателей «V/ДЕЛ.»

4.2.13. Яркостная модуляция может использоваться для получения нужной информации об исследуемом сигнале без изменения его формы.

Модулирующий сигнал поступает на гнездо « $\ominus Z$ », расположенное на задней панели прибора. Амплитуда напряжения, требуемая для осуществления яркостной модуляции, зависит от положения ручки «».

При помощи внешнего сигнала можно производить измерение временных интервалов при некалиброванной развертке, а также в том случае, когда горизонтальная развертка задается внешним сигналом. Самое четкое изображение получается, когда яркостная модуляция осуществляется сигналом с крутыми фронтами. Следует иметь в виду, что для получения устойчивого изображения необходимо, чтобы временные метки были зависимы во времени от исследуемого сигнала. Когда гнездо « $\ominus Z$ » не используется, его желательно соединить с корпусом.

4.2.14. Калибратор амплитуды и длительности формирует прямоугольные импульсы, калиброванные по амплитуде и длительности частотой 1 кГц.

Выходное напряжение калибратора используется для проверки коэффициентов отклонения вертикального усилителя и калибровки развертки.

Сигнал калибратора используется также для проверки и компенсации выносного делителя напряжения 1 : 10. Кроме того, сигнал калибратора может использоваться как источник сигнала для других приборов.

4.3. Проведение измерений

4.3.1. Для проведения измерения выполните следующие операции:

- а) подайте сигнал на гнездо « $\ominus 1 M\Omega 35 pF$ » одного из каналов;
- б) установите переключатель режима работы усилителя на требуемый канал;
- в) поставьте переключатели «V/ДЕЛ.» и « $\times 1, \times 10$ » в такое положение, чтобы амплитуда изображения составляла больше половины шкалы;

г) поставьте переключатель « $\equiv \perp \sim$ » в положение « \sim »;
 Переключатель « $\square \rightarrow$ » – в положение « \rightarrow »;

П р и м е ч а н и е: Для НЧ-сигналов частотой ниже 50 Гц использовать положение « \equiv ».

д) ручкой «УРОВЕНЬ» установите устойчивое изображение. Поставьте переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в положение, при котором наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;

е) установите ручку « \updownarrow » вертикального смещения так, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних линий, а максимальный находился в пределах экрана. Ручкой « \leftrightarrow » горизонтального перемещения сместите положение таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на вертикальной средней линии шкалы (рис. 2).



Рис. 2. Измерение амплитуды и размаха напряжения

ж) измерьте расстояние в делениях между нижней и верхней точками амплитуды. Ручка « \triangleright » должна быть установлена в крайнем правом положении;

П р и м е ч а н и е: Этот метод может быть использован для определения напряжения между двумя любыми точками сигнала, а не только между пиками напряжения.

з) умножьте расстояние, измеренное выше, на показания переключателей «V/ДЕЛ.» и « $\times 1, \times 10$ ».

Пример. Размах вертикального отклонения составляет 4 деления, используется делитель 1:10, переключатель «V/ДЕЛ.» установлен в положение «5 mV», а переключатель « $\times 1$, $\times 10$ » установлен в положение « $\times 10$ ».

Напряжение размаха $U = 4 \text{ дел.} \times 5 \text{ mV/ДЕЛ.} \times 10 = 200 \text{ мВ.}$

Напряжение амплитуды $U = 2 \text{ дел.} \times 5 \text{ mV/ДЕЛ.} \times 10 = 100 \text{ мВ.}$

4.3.2. Для измерения уровня постоянной составляющей в заданной точке импульса выполните следующие операции:

а) поставьте переключатель «АВТ., ЖДУЩ.» в положение «АВТ.»;

б) установите переключатель режима работы усилителя на требуемый канал;

в) расположите линию развертки ниже средней линии сетки или другой контрольной линии. Если напряжение отрицательно относительно «корпуса», переместите луч к верхней линии шкалы. Не следует перемещать ручку после установки контрольной линии;

г) подайте сигнал на входной разъем « \ominus 1 M Ω 35 pF» одного из каналов;

д) установите переключателями «V/ДЕЛ.» и « $\times 1$, $\times 10$ » 6–7 делений импульса по амплитуде;

Примечание: Для измерения уровня напряжения относительно других напряжений сделайте следующее: установите переключатель « $\equiv \perp \sim$ » в положение « \equiv », подайте опорное напряжение на гнездо « \ominus 1 M Ω 35 pF» усилителя и расположите линию развертки на контрольной линии.

е) установите ручкой «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение;

Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» установите в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала.

ж) определите расстояние в делениях между контрольной линией и точкой на линии сигнала, в которой нужно измерить напряжение;

з) умножьте полученный результат в делениях на коэффициент отклонения и показание переключателя « $\times 1$, $\times 10$ ». Следует также учитывать коэффициент ослабления выносного делителя, если он используется.

Пример. Расстояние в делениях между контрольной линией и точкой на линии сигнала, в которой нужно измерить напряжение, составляет 2 деления (рис. 3). Переключатель «V/ДЕЛ.» находится в положении «2 mV». Переключатель «×1, ×10» находится в положении «×10».

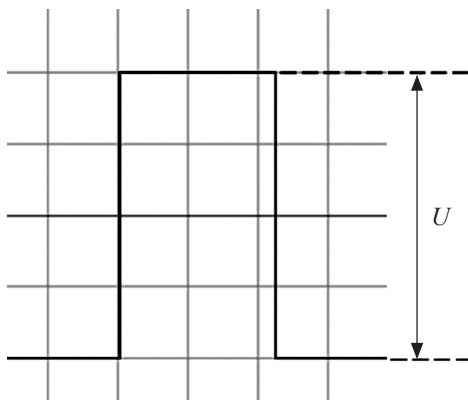


Рис. 3. Измерение переменного напряжения с постоянной составляющей

Мгновенное значение напряжения $U = 2 \text{ дел.} \times 2 \text{ mV/ДЕЛ.} \times 10 = 40 \text{ мВ.}$

4.3.3. Для измерения длительности сигнала между двумя точками произведите следующие операции:

- а) подайте исследуемый сигнал на гнездо;
- б) установите переключатель «V/ДЕЛ.» в такое положение, чтобы изображение на экране составило около 5–7 делений;
- в) установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в такое положение, при котором расстояние между измеряемыми точками будет меньше 10 делений;
- г) установите ручкой «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение на экране ЭЛТ;
- д) переместите ручкой « \updownarrow » изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились на горизонтальной центральной линии;

е) установите ручкой « \longleftrightarrow » изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились в пределах 10 центральных делений сетки;

ж) измерьте горизонтальное расстояние между измеренными точками;

з) умножьте расстояние, измеренное выше, на коэффициент развертки и положение переключателя « $\times 1, \times 0,2$ ».

Пример. Расстояние между измеренными точками составляет 4 деления (рис. 4), переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» установлен в положение «0,2 ms», а переключатель « $\times 1, \times 0,2$ » – в положение « $\times 1$ ».

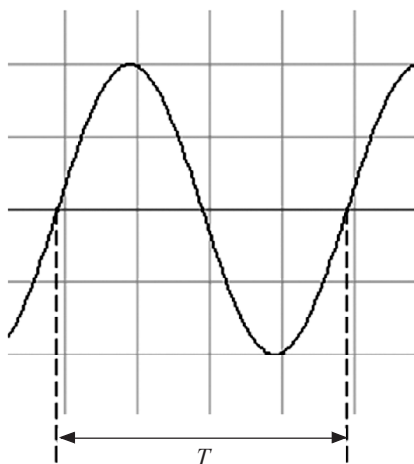


Рис. 4. Измерение длительности и частоты

Длительность периода сигнала $T = 4 \text{ ДЕЛ.} \times 0,2 \text{ ms} \times 1 = 0,8 \text{ ms}$.

4.3.4. Для измерения частоты периодических сигналов сделайте следующее:

а) измерьте длительность времени одного периода сигнала, как описано в п. 4.3.3 (рис. 4);

б) рассчитайте частоту сигнала f_c по формуле $f_c = 1/T$, где f_c – частота, Гц; T – длительность периода, с.

Пример. Частота сигнала с длительностью периода 0,8 мс $f_c = 1/0,8 \text{ мс} = 1,25 \text{ кГц}$.

4.3.5. Измерение времени нарастания основано на том же методе, что и измерение длительности сигнала. Ниже приводится методика измерения времени нарастания между точками импульса на уровне 0,1 и 0,9.

Время спада можно измерить аналогичным образом на заднем фронте импульса:

- а) подайте сигнал на гнездо « \ominus 1 М Ω 35 pF» одного из каналов;
- б) установите переключатель режима работы усилителя на требуемый канал;
- в) установите переключателем «V/ДЕЛ.» максимально возможное изображение сигнала по амплитуде;
- г) установите изображение симметрично средней горизонтальной линии;
- д) установите переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» наибольшую скорость развертки, при которой изображение между точками импульса на уровнях 0,1 и 0,9 будет занимать не более 10 делений по горизонтали;
- е) определите точки уровней 0,1 и 0,9 на нарастающей части импульса;
- ж) ручкой « \longleftrightarrow » совместите точку уровня 0,1 с одной из вертикальных линий шкалы экрана ЭЛТ в левой части экрана (рис. 5);

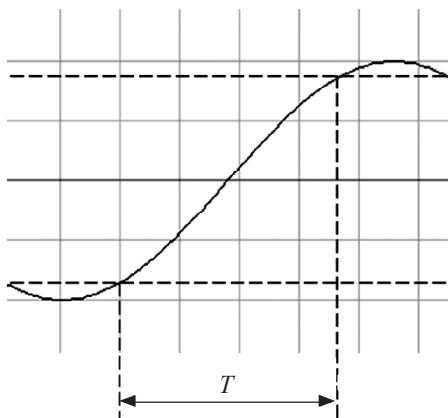


Рис. 5. Измерение времени нарастания



з) измерьте горизонтальное расстояние между точками уровней 0,1 и 0,9;

и) умножьте расстояние, полученное выше, на величину, определяемую переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» При использовании растяжки длительности результат умножить на 0,2.

Пример. Расстояние по горизонтали между точками сигнала на уровнях 0,1 и 0,9 равно 3,6 деления (рис. 5). Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» установлен в положение «0,5 μ s», использована растяжка.

Время нарастания $T = 3,6 \text{ ДЕЛ.} \times 0,5 \mu\text{s} \times 0,2 = 0,36 \text{ мкс.}$



4.3.6. Калиброванная скорость развертки и двухканальный режим прибора позволяют измерять временной сдвиг между двумя отдельными сигналами. Для измерения:

а) установите переключатели « \perp » в требуемое положение;

б) установите переключатель режима работы усилителя в положение «...» или « $\longrightarrow \longrightarrow$ ». Режим «...» более пригоден для исследования низкочастотных сигналов;

в) установите переключатель синхронизации в положение «Внутр. I, II»;

г) подайте опорный сигнал на вход канала I, а исследуемый – на вход канала II. Опорный сигнал должен предшествовать исследуемому. Сигналы подавайте на входы коаксиальными кабелями с одинаковым временем задержки;

д) если сигналы противоположной полярности, тумблером « » инвертируйте сигнал канала II;

е) установите переключателями «V/ДЕЛ.» изображение сигнала на 5–8 делений;

ж) ручкой «УРОВЕНЬ» установите устойчивое изображение;

з) установите переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» такую скорость развертки, чтобы между двумя импульсами было 4 или более делений;

и) установите ручками « \updownarrow » оба импульса (или точки изображения, между которыми производятся измерения) посередине экрана относительно центральной горизонтальной линии;

к) при помощи ручки « \longleftrightarrow » контрольный сигнал совместите с вертикальной линией сетки;

л) измерьте расстояние по горизонтали между импульсами канала I и канала II (рис. 6);

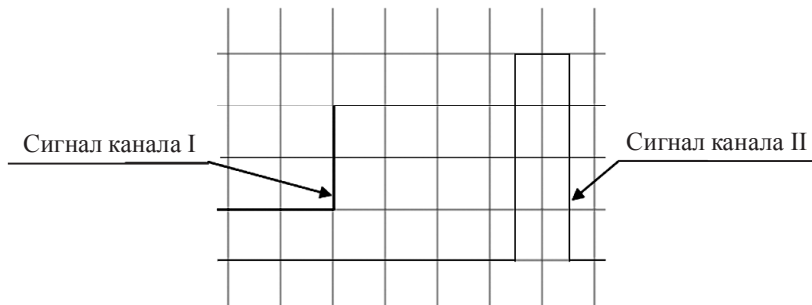


Рис. 6. Измерение временного сдвига двух сигналов

м) умножьте полученную разность на величину, определяемую положением переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» При использовании растяжки результат умножьте на 0,2.

Пример. Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» установлен в положение «50 μ s», включена растяжка, разность по горизонтали между импульсами 3,5 деления.

Временной сдвиг равен $50 \times 3,5 \times 0,2 = 35$ мкс.

4.3.7. Сравнение фаз между двумя сигналами одной частоты можно осуществить, используя двухканальный режим осциллографа.

Для сравнения фаз выполните следующие операции:

а) установите переключатели « $\equiv \perp \sim$ » в одинаковое положение в зависимости от типа подаваемого сигнала;

б) установите переключатель режима работы делителя в положение «...» или « $\longrightarrow \longrightarrow$ ». Режим «...» обычно применяется при НЧ сигналах;

в) установите переключатель синхронизации в положение «Внутр. I»;

г) подайте опорный сигнал на вход канала I, а сравниваемый – на вход канала II. Опорный сигнал должен предшествовать сигналу,

сравниваемому по времени. При подключении сигнала на входы используйте кабели с одинаковым временем задержки;

д) если сигналы противоположной полярности, переключателем полярности « $\square \sqcup$ » канала II инвертируйте сигнал;

е) установите переключателями «V/ДЕЛ.» и ручками « \triangleright » обоих каналов идентичные изображения около 6–7 делений по амплитуде;

ж) установите ручкой «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение;

з) установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» на скорость развертки, обеспечивающую один цикл сигналов на экране;

и) переместите кривые сигналов к центру градуированной линии ручками « \updownarrow »;

к) измерьте период опорного сигнала l_1 (рис. 7) в делениях шкалы;

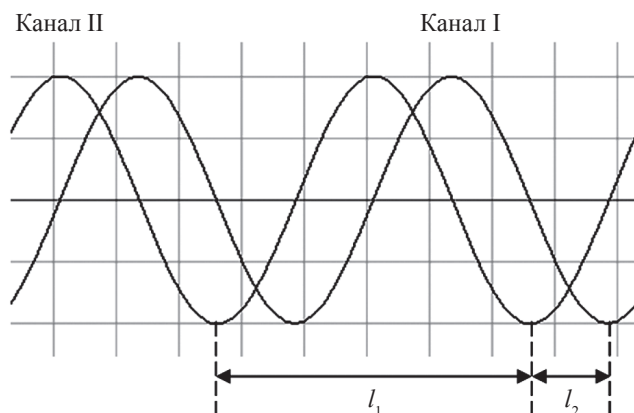


Рис. 7. Измерение сдвига фаз

л) измерьте разность по горизонтали между соответствующими точками сигналов l_2 в делениях шкалы;

м) фазовый сдвиг φ вычислите по формуле

$$\varphi = \frac{l_2}{l_1} \times 360^\circ,$$

где l_2 – горизонтальная разность фаз; l_1 – период опорного сигнала.

Пример. $l_2 = 1,2$ деления, $l_1 = 5$ делений.

Фазовый сдвиг равен $\varphi = \frac{1,2}{5} \times 360^\circ = 86,4^\circ$.

4.3.8. Метод измерения фазы с помощью фигур Лиссажу используется для определения фазовой разности между двумя сигналами одной частоты. Он удобен для сигналов частотой до 100 кГц.

Для измерения фазы:

а) подайте синусоидальные сигналы на входы « \oplus 1 МΩ 35pF» обоих каналов;

б) переключатель режима работы усилителя установите в положение «II», «X-Y»;

в) переключатель синхронизации установите в «X-Y»;

г) ручками переключателей «V/ДЕЛ.» выставьте изображения в пределах экрана. (Оба переключателя должны находиться в одинаковых положениях.);

д) ручками « \longleftrightarrow » и « \updownarrow » установите изображения в центре экрана;

е) измерьте расстояния A , B и C , D , как показано на рис. 8.

$$\sin \varphi = \pm \frac{A}{B} = \pm \frac{C}{D}.$$

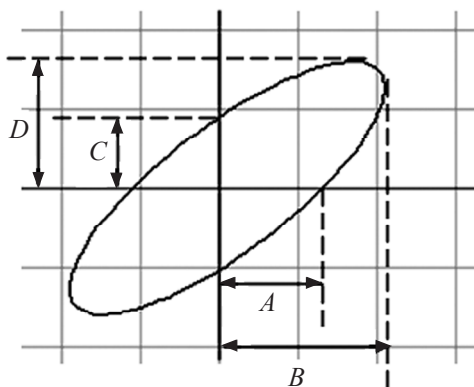


Рис. 8. Измерение разности фаз (X-Y)

Если изображение представляет собой диагонально направленную линию, то два сигнала находятся или в фазе (рис. 9, *а*), или с разницей 180° (рис. 9, *в*). Изображение окружности (см. рис. 9, *б*) указывает на фазовую разность 90° .

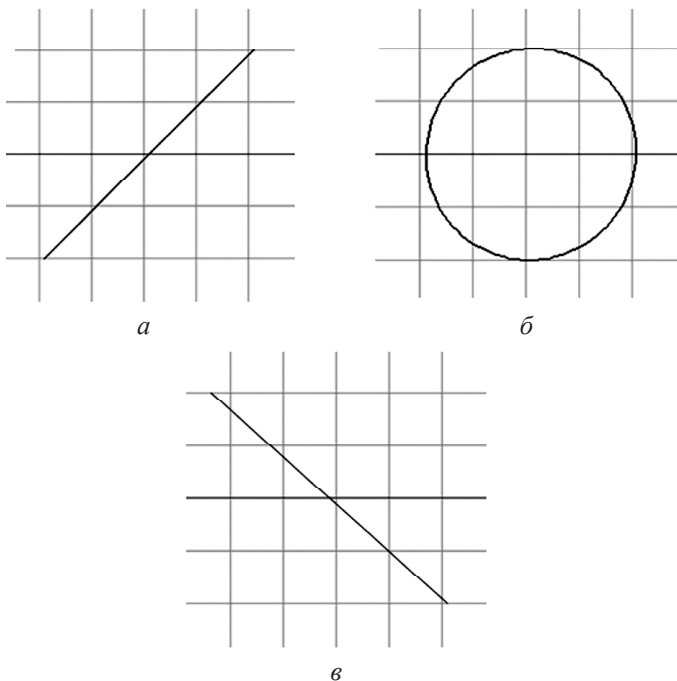
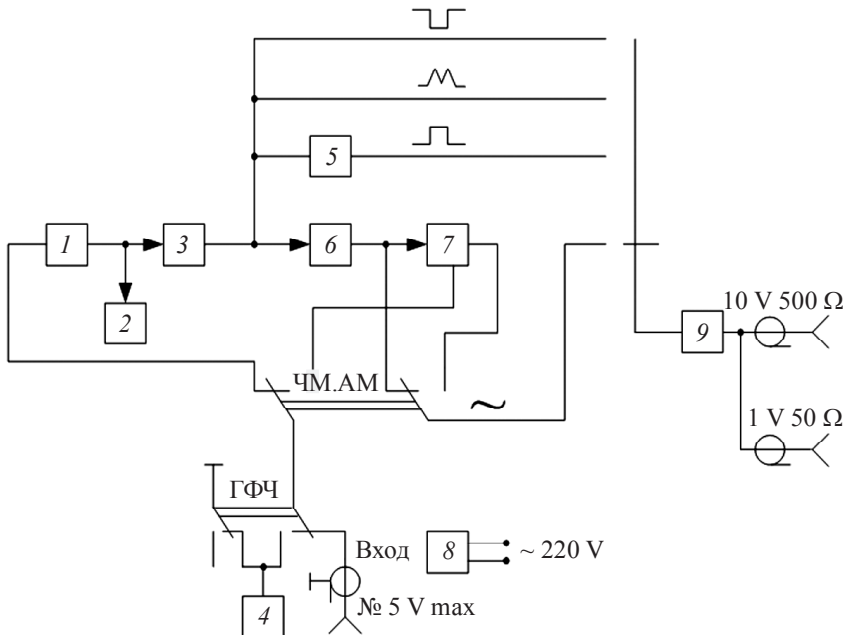


Рис. 9. Фигуры, определяющие сдвиг фаз:
а – 0° или 360° ; *б* – 90° или 270° ; *в* – 180°

На рис. 9 изображены несколько возможных фигур, определяющих фазу от 0° до 360° .

ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА Л 31

1. Устройство генератора



1. Структурная схема генератора:

1 – устройство управления; 2 – устройство индикации; 3 – задающий генератор; 4 – внутренний генератор синусоидальных сигналов фиксированной частоты (ГФЧ); 5 – формирователь прямоугольного сигнала; 6 – формирователь синусоидального сигнала; 7 – модулятор; 8 – блок питания; 9 – выходное согласующее устройство

2. Устройство управления

Устройство управления выполнено на дифференциальном каскаде и осуществляет ввод сигналов управления частотой вручную и с помощью внешних сигналов для задающего генератора сигналов и устройства индикации.

Задающий генератор состоит из 2 генераторов тока, выполненных на транзисторах различной проводимости, перезаряжающих емкость, на которой формируется сигнал треугольной формы, истокового повторителя, триггерного устройства, формирователя сигналов прямоугольной формы, ключей, управляющих переключением генераторов тока.

Формирование синусоидального сигнала производится на диодах. Индикация устанавливаемой частоты и ее девиации осуществляется на одном линейном газоразрядном индикаторе, который управляется с помощью генератора тока.

Модулятор – балансного типа, обеспечивает широкий диапазон модуляции сигналов с малыми искажениями. Модуляция может осуществляться как от внутреннего генератора синусоидального сигнала, так и от внешнего генератора сигналов произвольной формы.

Внутренний генератор синусоидальных сигналов выполнен на двойном T -образном мосте. В генераторе имеется переключатель выбора формы сигнала.





Согласующее устройство выполнено на эмиттерном повторителе с транзисторами различной проводимости, благодаря чему обеспечивается нормальный режим работы генератора на низкоомную нагрузку.

3. Органы управления

Органы управления расположены на лицевой панели и предназначены:

СЕТЬ – для включения и выключения генератора;

УРОВЕНЬ – для плавной регулировки уровня выходного напряжения;

ДЕВИАЦИЯ – для регулировки диапазона девиации частот;
 МОДУЛЯЦИЯ – для установки коэффициента модуляции;
 ЧАСТОТА – для установки частоты выходного сигнала;
 кнопки «1», «10», «100», «1000», «0,5», объединенные надписью ДЕЛИТЕЛЬ, – для ослабления выходного сигнала;
 кнопки «», «», «», «», объединенные надписью РОД РАБОТ, – для выбора формы выходного сигнала;
 кнопка «ГФЧ» – для внешней и внутренней модуляции (нажатая кнопка соответствует внутренней модуляции). При девиации кнопка должна быть отпущена;
 кнопка «ЧМ.АМ» – для выбора режима амплитудной модуляции и девиации;
 кнопки «0,01», «0,1», «1», «10», «100», «МГц», объединенные надписью МНОЖИТЕЛЬ, – для выбора поддиапазона;
 гнездо «10 V 500 Ω » – для выхода сигналов с размахом:
 а) треугольного сигнала – 10 В;
 б) прямоугольного сигнала – 7,5 В;
 в) синусоидального сигнала – 4,5 В
 с плавной регулировкой при выходном сопротивлении 500 Ом;
 гнездо «1 V 50 Ω » – для выхода сигнала со ступенчатым делением от 1 В до 500 мкВ;
 гнездо «ВХОД № 5 V max» – для подключения сигнала при внешней модуляции и пилообразного напряжения для девиаций частоты с размахом не более 5 В.

4. Подготовка к работе

4.1. Проверьте наличие вставки плавкой в генераторе.

4.2. Установите кнопку СЕТЬ в положение «выключено».


4.3. Установите органы управления в положения:

ДЕВИАЦИЯ – крайнее левое;

МОДУЛЯЦИЯ – крайнее левое;

ЧАСТОТА – крайнее левое;

УРОВЕНЬ – крайнее правое.

Нажмите кнопки «1» переключателя ДЕЛИТЕЛЬ, «» переключателя РОД РАБОТ и «1» переключателя МНОЖИТЕЛЬ.

4.4. Подключите к сети шнур питания генератора. Нажмите кнопку СЕТЬ.

Вращая ручку ЧАСТОТА по часовой стрелке, установите значение частоты генерируемых колебаний, которое отсчитывается по шкале генератора с помощью светящегося столба индикаторной лампы.

4.5. По истечении 30 мин. устанавливается рабочий режим, генератор готов к работе.

5. Порядок работы

5.1. Работа с генератором включает, в основном, следующие операции:

- выбор формы выходного сигнала;
- установка частоты;
- установка величины выходного сигнала;
- установка диапазона девиации частоты;
- установка глубины модуляции.

5.2. Для выбора формы выходного сигнала нажмите соответствующую кнопку переключателя РОД РАБОТ.

5.3. Нужное значение частоты генератора установите с помощью переключателя МНОЖИТЕЛЬ и ручки ЧАСТОТА.

5.4. Установите необходимый уровень выходного сигнала с помощью переключателя ДЕЛИТЕЛЬ.

5.5. Для установления режима девиации частоты необходимо подать с осциллографа на вход генератора напряжение пилообразной формы амплитудой от 2 до 5 В и частотой 5 Гц на диапазоне частот 20–200 Гц и 50 Гц – на остальных диапазонах. Необходимый диапазон частот установите с помощью переключателя МНОЖИТЕЛЬ, при этом кнопки «ГФЧ» и «ЧМ.АМ» переключателя РОД РАБОТ отпущены.

Необходимый диапазон девиации частоты устанавливается ручками ДЕВИАЦИЯ и ЧАСТОТА по индикатору.

5.6. Амплитудная модуляция возможна в режимах «внутренняя модуляция и внешняя модуляция». Выбор режима модуляции осуществляется кнопкой «ГФЧ»:

- при нажатой кнопке – внутренняя модуляция;
- при отпущенной кнопке – внешняя модуляция.

5.7. Выбор вида модуляции осуществляется кнопкой «ЧМ.АМ» переключателя РОД РАБОТ: при амплитудной модуляции кнопка нажата, при частотной – отпущена. Коэффициент модуляции при амплитудной модуляции устанавливается ручкой МОДУЛЯЦИЯ по экрану осциллографа, а девиация частоты при частотной модуляции – ручкой ДЕВИАЦИЯ по индикатору.

П р и м е ч а н и я:

1. Частота модулирующего сигнала при внутренней модуляции – 1000 Гц.
2. Частотная модуляция осуществляется на несущей частоте от 1 до 10 МГц, а амплитудная модуляция – на несущей частоте от 100 кГц до 10 МГц.
3. При внешней модуляции модулирующий сигнал подается на входной разъем.

5.8. Снятие амплитудно-частотных характеристик.

Для определения верхней границы полосы пропускания усилителя низкой частоты подключите выход пилообразного напряжения осциллографа к входу генератора, включите длительность развертки 2 мс/ДЕЛ.

На генераторе установите диапазон девиации от 2 до 20 кГц, для чего нажмите кнопку «1» переключателя МНОЖИТЕЛЬ, ручками ЧАСТОТА и ДЕВИАЦИЯ установите диапазон девиации на всю шкалу индикатора.

Установите с помощью делителя выходное напряжение генератора соответственно чувствительности усилителя и подайте сигнал с генератора на вход усилителя, с выхода усилителя подайте сигнал на вход осциллографа (синхронизация осциллографа должна быть от сети), на экране осциллографа появится частотная характеристика усилителя на верхних частотах (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что полоса пропускания данного усилителя – до 10 кГц. Величина затухания определяется по формуле

$$K_{\text{зат}} = \frac{U_1}{U_2}, \quad (1)$$

где U_1 – напряжение в полосе пропускания; U_2 – напряжение в полосе затухания.

Аналогично определяется нижняя граница полосы пропускания усилителя низкой частоты (УНЧ).

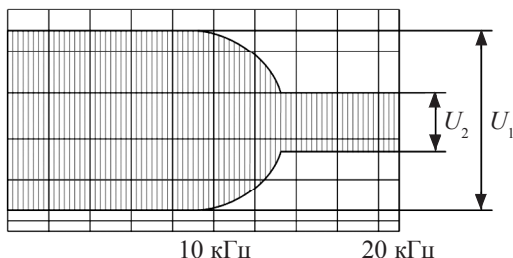


Рис. 2. Осциллограмма определения частотных характеристик усилителя на верхних частотах

При настройке фильтров усилителя промежуточной частоты (УПЧ) на генераторе включите поддиапазон 200–2000 кГц, установите диапазон девиации от 430 до 500 кГц.

Выход генератора присоедините к фильтру через емкость 10–30 пФ, при этом на экране осциллографа появится частотная характеристика УПЧ (см. рис. 3).

Избирательность фильтра (K) определяется по формуле

$$K = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}. \quad (2)$$

Необходимо иметь в виду, что диапазон девиации, установленный по индикатору генератора, на экране осциллографа изображается на всей длине развертки, поэтому частота для любой точки развертки определяется по формуле

$$f_n = \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{10} \right) n + f_{\min}, \quad (3)$$

где f_n – частота в точке n ; n – произвольно выбранное количество вертикальных делений шкалы осциллографа; f_{\max} – верхняя граница девиации частот по индикатору; f_{\min} – нижняя граница девиации частоты по индикатору; 10 – количество вертикальных делений шкалы осциллографа.

5.9. Проверка детекторов сигналов с амплитудной модуляцией.

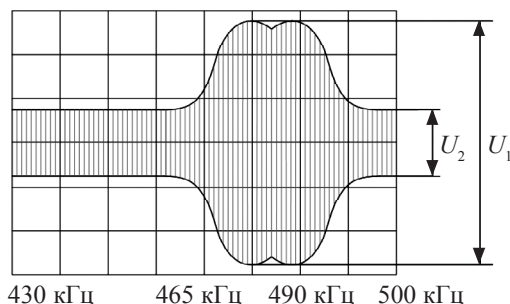


Рис. 3. Осциллограмма определения избирательности фильтров

На выходе генератора установите частоту 465 кГц. Включите амплитудную модуляцию кнопкой «ЧМ.АМ». Включите внутреннюю модуляцию генератора кнопкой «ГФЧ», установите глубину модуляции 30 % по экрану осциллографа (рис. 4).

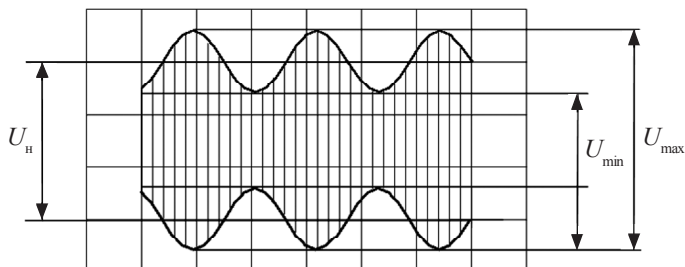


Рис. 4. Осциллограмма определения глубины амплитудной модуляции:
 U_{\max} – максимальная амплитуда несущей; U_{\min} – минимальная амплитуда несущей;
 $U_{\text{н}}$ – среднее значение несущей

Коэффициент модуляции (m) определяется в процентах по формуле

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \times 100. \quad (4)$$

Установите необходимый уровень выходного сигнала генератора и через емкость 40–60 пФ подайте его на вход детектора, на выходе детектора должен быть отфильтрованный от высокочастотной (ВЧ) составляющей неискаженный низкочастотный сигнал.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА *MULTISIM*

1. Программа *Multisim*

Программа *Multisim* была разработана для интерактивного создания принципиальных электрических схем и моделирования их режимов работы.

Использование программного обеспечения для моделирования электрических цепей *Multisim* компании *National Instruments* со средой разработки измерительных систем *LabVIEW*, позволяет сравнивать теоретические данные с реальными непосредственно в процессе создания схем обычных печатных плат, что снижает количество проектных итераций и число ошибок в их прототипах.

База данных компонентов включает более 1200 *SPICE*-моделей элементов от ведущих производителей, таких как *Analog Devices*, *Linear Technology* и *Texas Instruments*, а также более 100 новых моделей импульсных источников питания.

Особенностью программы является наличие в ней измерительных приборов, по внешнему виду, органам управления и характеристикам максимально приближенных к их промышленным аналогам.

2. Настройка листа

Диалоговое окно настройки свойств листа (*Sheet Properties*) используется для изменения свойств каждого листа. Эти свойства сохраняются с файлом схемы.

Настройки листа группируются следующими вкладками:

Circuit (Схема) – выбор цветовой схемы и внешний вид текста рабочей области;

Workplace (Рабочая область) – настройка размера листа и его свойств;

Wiring (Соединение) – соединительные провода и шины;

Font (Шрифт) – выбор шрифта, его размера;

PCB (Печатная плата) – настройки печатной платы;

Visibility (Визуализация) – здесь можно скрыть или отобразить дополнительные слои комментариев.

Окно программы *Multisim* (рис. 5) содержит шкалу меню: *File*, *Edit*, *View*, *Place*, *Simulate*, *Transfer*, *Tools*, *Options*, *Help*.

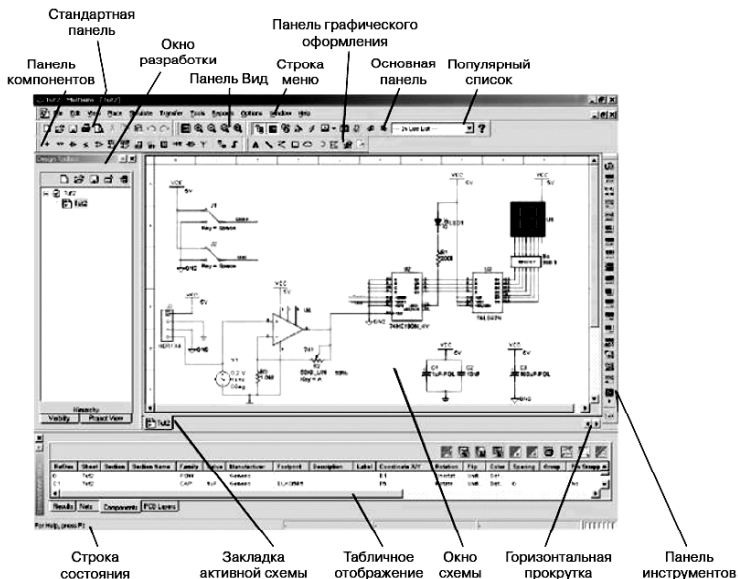


Рис. 5. Окно редактора схем программы *Multisim*

Меню *Simulate* содержит команды:

Run – запуск моделирования;

Pause – временная остановка моделирования;

Default Instrument Setting – установка по умолчанию режима работы контрольно-измерительных приборов;

Default Simulation Setting – выбор идеального (при использовании компонентов типа *Virtual*) или реального режимов работы моделирования;

Instruments – список контрольно-измерительных приборов, расположен слева в окне;

Analyses – список команд моделирования.

Меню *Options* – (настройка программы), содержит команды:

Preferences – пользовательские настройки.

Третья строка окна содержит:

– кнопки общесистемного характера (*System*);

– кнопки, с помощью которых можно увеличить или уменьшить масштаб изображения (*Zoom*);

- специальные кнопки, дублирующие наиболее часто используемые команды (*Design*);
- выпадающий список использованных в текущей схеме компонентов (*In Use List*);
- кнопку, временно приостанавливающую процесс моделирования;
- переключатель, запускающий и останавливающий процесс моделирования.

Для настройки пользовательского интерфейса нужно выбрать пункт *Options/Customize User Interface* (Опции/Настроить пользовательский интерфейс). С помощью диалогового окна *Customize* (Настройка) можно создавать и изменять панели инструментов, назначать горячие клавиши, настраивать и создавать новые меню.

3. Горячие клавиши

- Ctrl + N* – Создать новый файл
- Ctrl + O* – Открыть файл
- Ctrl + S* – Сохранить текущий файл
- Ctrl + P* – Печать графиков/текущий файл
- Ctrl + Z* – Отмена действия
- Ctrl + X* – Вырезать
- Ctrl + C* – Копировать
- Ctrl + V* – Вставить
- Ctrl + F* – Поиск
- Ctrl + W* – Выбор компонент или устройств
- Ctrl + J* – Вставить узел
- Ctrl + Q* – Добавить провод
- Ctrl + I* – Вставка коннектора
- Ctrl + B* – Вставка подсхемы
- Ctrl + T* – Вставка текста
- F5* – Запуск схемы
- F6* – Пауза
- Alt + Y* – Зеркальное отображение по вертикали
- Alt + X* – Зеркальное отображение по горизонтали
- Ctrl + R* – Поворот на 90° вправо
- Ctrl + Shift + R* – Поворот на 90° влево

Кнопки можно сделать видимыми или невидимыми, если вызвать команду *View/Toolbars* и во всплывающем меню установить соответствующие флажки: *System, Zoom, Design, In Use List*.

4. Редактор схем

Окно редактора схем предназначено для создания и редактирования принципиальных схем устройства. По умолчанию цвет фона окна черный. Изменить установки по умолчанию можно, выбрав команду *Options – Preferences*. После выбора данной команды открывается диалоговое окно *Preferences* (рис. 6). Оно содержит шесть вкладок, на которых можно установить необходимые опции. При выводе этого окна активной является вкладка *Circuit*, на которой имеются две панели *Show* и *Color*.

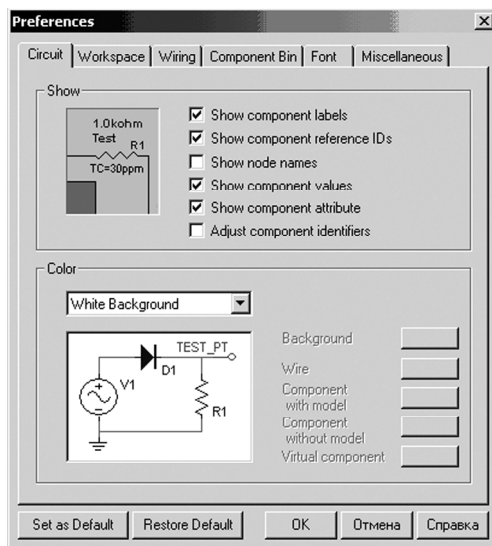


Рис. 6. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Circuit*

Панель *Show* содержит окно просмотра, в котором можно увидеть установленные опции, и шесть флажков, с помощью которых устанавливаются необходимые опции.

С помощью флажка *Show component labels* выбирают видимость или невидимость позиционного обозначения компонента на схеме. Для того чтобы установить видимость позиционного обозначения компонента на схеме, нужно щелкнуть левой клавишей мыши по белому квадрату, расположенному слева от имени флажка.

Если флажок выбран, то в белом квадрате появляется галочка.

Следующими флажками устанавливают видимость на схеме:

Show component reference IDs – порядкового номера компонента;

Show node names – имени узла;

Show component values – номинала компонента;

Show component attribute – таблицы свойств компонента.

Флажок *Adjust component identifiers* позволяет при упорядочивании схемы изменять идентификационные номера однотипных компонентов, присвоенных программой автоматически в порядке их установки.

Панель *Color* содержит выпадающий список с именами команд, устанавливающих цвет фона, надписей и компонентов, окно просмотра, в котором можно просмотреть выбранный режим установки цвета, и пять кнопок, окрашенных в различные цвета, с помощью которых устанавливают цвет для фона (*Background*), проводника (*Wire*), компонента, имеющего математическую модель (*Component with model*), компонента, не имеющего математическую модель (*Component without model*), и виртуального компонента (*Virtual component*).

На вкладке *Workspace* (рис. 7) определяются настройки текущего окна.

На панели *Show* в окне, расположенном слева, отображаются результаты установки опций с помощью флажков, находящихся справа. Самый верхний флажок – показывать (или нет) сетку (*Show grid*), второй сверху флажок – показывать или нет границы страницы (*Show page bounds*), третий флажок – показывать или нет штамп страницы (*Show title block*).

На панели *Sheet size* (размер страницы схемы) в выпадающем списке выбирают формат страницы. На панели *Orientation* устанавли-

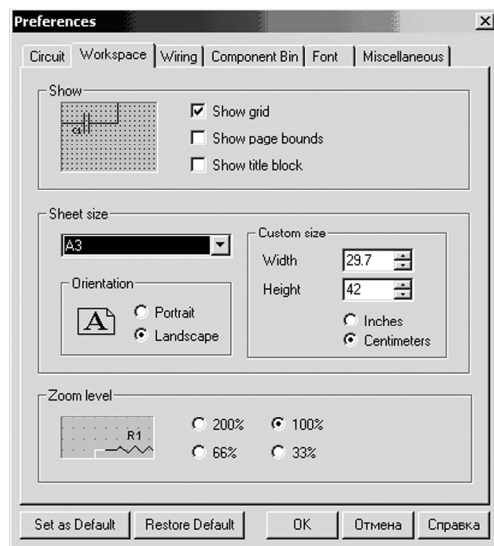


Рис. 7. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Workspace*

ливают ориентацию страницы: портрет или альбомная (*Landscape*); на панели *Custom size* – ширину и высоту страницы в дюймах или сантиметрах; на панели *Zoom level* – масштаб изображения.

На вкладке *Wiring* (рис. 8) устанавливают ширину проводников и степень автоматизации разводки проводников; на панели *Wire width (drawing option)* – ширину линии. Результат отображается в окне.

На вкладке *Component Bin* (рис. 9) на панели *Symbol standard* устанавливается стандарт изображения компонентов *ANCI* (США) или *DIN* (Европа).

На панели *Component toolbar functionality* указывают, изменять или нет цвет изображения компонента при его выборе.

На панели *Place component mode* выбирают режим размещения компонентов: единственный компонент (*Place single component*), непрерывное размещение многосекционного компонента (*Continuous placement for multi-section part only*), непрерывное размещение (*Continuous*).

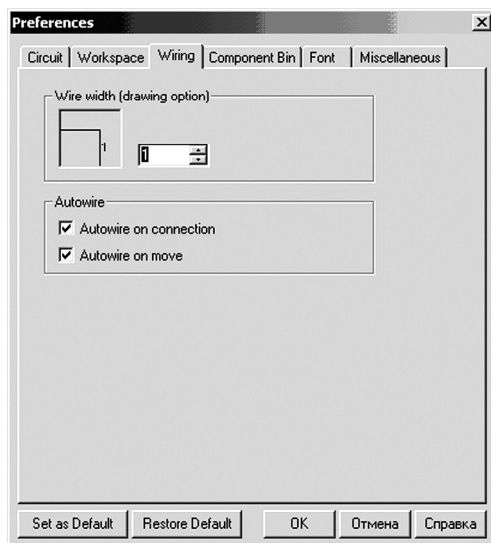


Рис. 8. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Wiring*

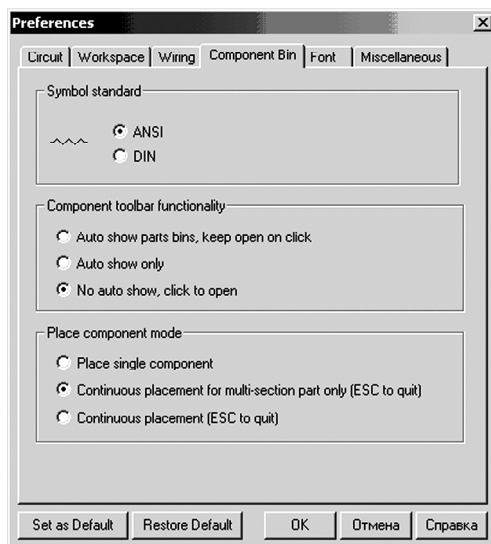


Рис. 9. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Component Bin*

На вкладке Шрифт (*Font*) выбирают шрифт и его атрибуты для выбранных компонентов схемы (рис. 10).

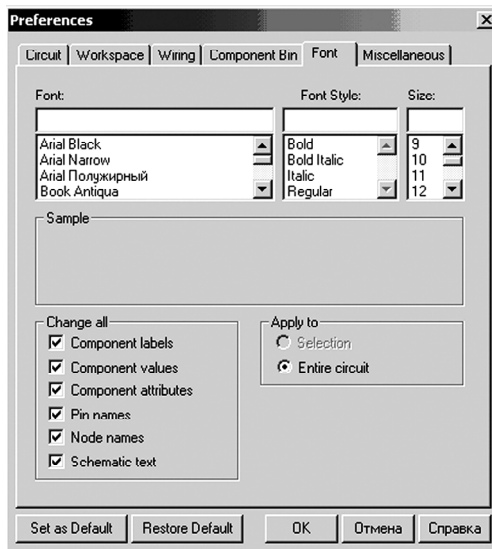


Рис. 10. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Font*

На вкладке *Miscellaneous* (Разное) (рис. 11) устанавливают режим автосохранения данных, пути к рабочему каталогу, идеальный или реальный режим моделирования (переключатели *Ideal* и *Real* на панели *Digital Simulation Setting*) цифровых схем, соединить или рассоединить аналоговое и цифровое заземление (флажок *Connect digital ground to analog ground* на панели *PCB Ground Option*).

Для того чтобы записать выбранные опции для текущей схемы, нужно щелкнуть левой клавишей мыши по кнопке *OK*.

Для того чтобы записать выбранные опции как устанавливаемые по умолчанию, следует щелкнуть левой клавишей мыши по кнопке *Set as Default*, затем по кнопке *OK*.

Для того чтобы вернуться к предыдущим опциям, установленным по умолчанию, необходимо щелкнуть по кнопке *Restore Default*.

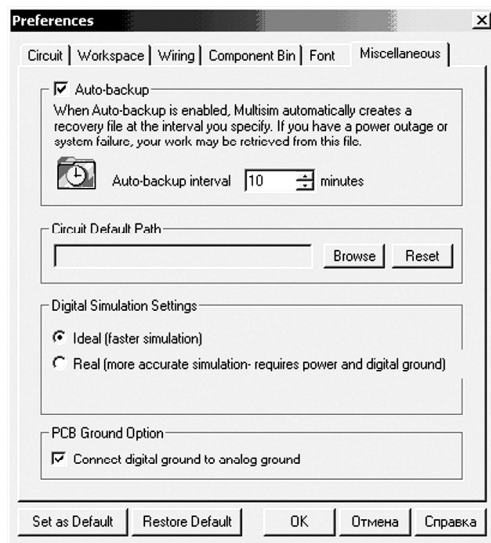


Рис. 11. Диалоговое окно *Preferences* с вкладкой *Miscellaneous*

Чтобы остановить изменения и закрыть диалоговое окно, нужно щелкнуть по кнопке *Cancel*.

5. Компоненты схем и их размещение

Слева в окне расположена горизонтальная панель библиотек компонентов (рис. 12) базы данных *Component Bars*, справа – вертикальная панель измерительных приборов *Instruments*.



Рис. 12. Панель инструментов *Components* (Компоненты)

Панель библиотек компонентов можно сделать видимой или невидимой, если вызвать команду *View/Component Bars* и во всплывающем меню установить (или нет) флажок *Multisim Database*.

Компоненты, необходимые для создания схемы, сгруппированы в логические разделы (*Parts Bin*). Каждому логическому разделу

соответствует кнопка на шкале инструментов. При нажатии на одну из этих кнопок открывается соответствующая панель (*Parts Bin*), содержащая кнопки для каждого компонента, входящего в семейство компонентов. Разместить компоненты можно также с помощью команды *Place/Place Component*.

Панель библиотек компонентов (базы данных *Component Bars*) содержит:

- источники (*Sources*);
- пассивные компоненты и коммутационные устройства (*Basic*);
- диоды (*Diodes*);
- транзисторы (*Transistors*);
- аналоговые микросхемы (*Analog*);
- цифровые микросхемы ТТЛ серии (*TTL*);
- цифровые микросхемы КМОП серии (*CMOS*);
- одиночные цифровые схемы, АЛУ, регистры, счетчики, мультиплексоры, дешифраторы, ОЗУ и т. п. (*Misc Digital*);
- микросхемы смешанного типа (*Mixed*);
- индикаторные устройства (*Indicators*);
- компоненты смешанного типа (*Miscellaneous*);
- аналоговые вычислительные устройства (*Controls*);
- радиочастотные компоненты (*RF*);
- электромеханические элементы (*Electro Mechanical*).

Проводник компонентов (*Component Browser*) – место, где выбираются компоненты для размещения на схеме. Как было указано выше, горячая клавиша для размещения компонент *Ctrl W* или двойной щелчок мышью. Курсор мыши примет форму компонента, пока вы не выберете место на схеме для компонента.

Для поиска нужного компонента начните набирать название компонента и проводник автоматически подберет подходящие элементы. Кнопка *Search* (Поиск) открывает расширенный поиск.

В Проводнике компонентов отображается текущая база данных, в которой хранятся элементы, а также отображается описание компонента (*Function*), модель и печатная плата или производитель (рис. 13).

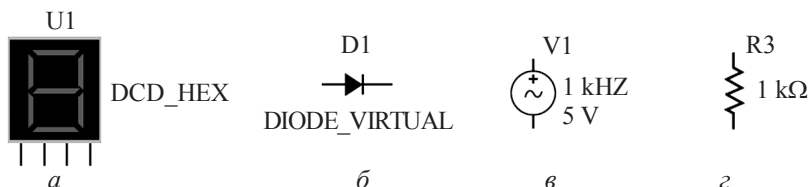


Рис. 13. Символы различных компонентов:

a – 7-сегментный индикатор; *б* – диод; *в* – источник напряжения; *г* – резистор

Если необходимо изменить свойства компонента (порядковый номер, имя и величину значения), то дважды щелкнуть по изображению компонента. Например, нам нужно изменить стандартное напряжение питания 12 В. Сначала выберем источник напряжения *VCC* из *Source*. Щелкнем дважды по изображению компонента – откроется диалоговое окно *Digital Power* (рис. 14). Название окна зависит от назначения компонента. Это окно содержит четыре вкладки. По умолчанию открыта вкладка *Value*, на которой расположены текстовая строка и выпадающий список.



Рис. 14. Диалоговое окно *Digital Power* с вкладкой *Value*

На вкладке *Label* (рис. 15) в текстовой строке *Reference ID* указывается название компонента.

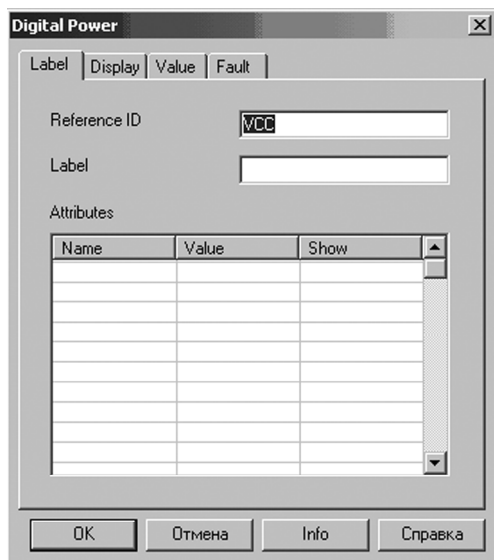


Рис. 15. Диалоговое окно *Digital Power* с вкладкой *Label*

На вкладке *Display* имеется пять флажков (рис. 16), устанавливающих видимость:

Use Schematic Option global setting – всех надписей компонента;

Show labels – ярлыка компонента;

Show values – величины значения компонента;

Show reference ID – порядкового номера компонента;

Show Attributes – таблицы свойств.

Если установлен флажок *Use Schematic Option global setting*, то остальные флажки имеют серый цвет и недоступны.

На вкладке *Fault* (погрешность) (рис. 17) устанавливают границы погрешности.

После выбора компонентов из базы данных они размещаются на схеме и соединяются между собой. Двойной щелчок по компо-

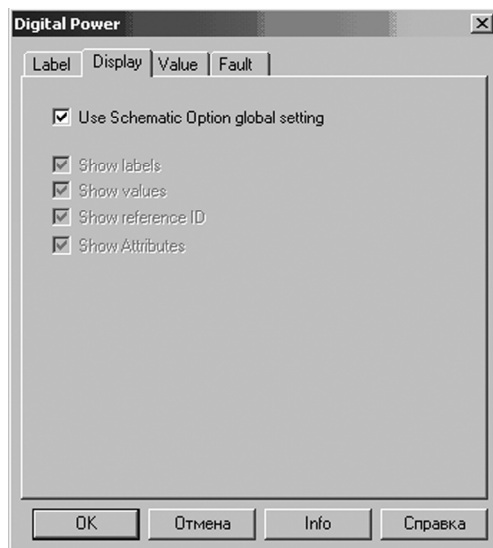


Рис. 16. Диалоговое окно *Digital Power* с вкладкой *Display*

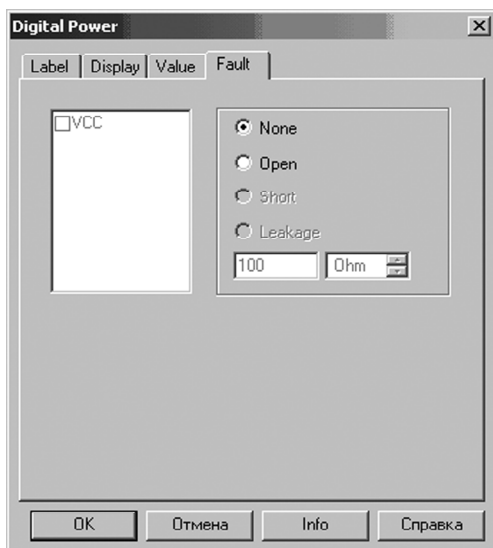


Рис. 17. Диалоговое окно *Digital Power* с вкладкой *Fault*

ненту в проводнике прикрепит его к курсору. После этого можно поместить его в желаемое место схемы. Выбранные компоненты обозначаются пунктирной линией.

Компоненты можно заменять на другие с помощью пункта контекстного меню *Replace Components* (Заменить компоненты). Новые компоненты выбираются в открывшемся окне Проводника компонентов. Соединения компонентов после замены программа *Multisim* восстановит. После установки компонента его можно повернуть, нажав *Ctrl R*.

Чтоб соединить выбранные компоненты проводником, кликните по разъему и по конечному терминалу. После появления проводника *Multisim* автоматически присвоит ему номер.

В *Multisim* есть функция автоматического соединения разъемов между собой и с проводниками. Чтобы добавить компонент в существующую схему, нужно его переместить, чтобы он касался соединения в желаемом месте (рис. 18).



Рис. 18. Автоматическое соединение разъемов

В *Multisim* можно добавить компонент внутрь существующей схемы соединений. Для этого нужно разместить элемент параллельно проводнику (рис. 19).

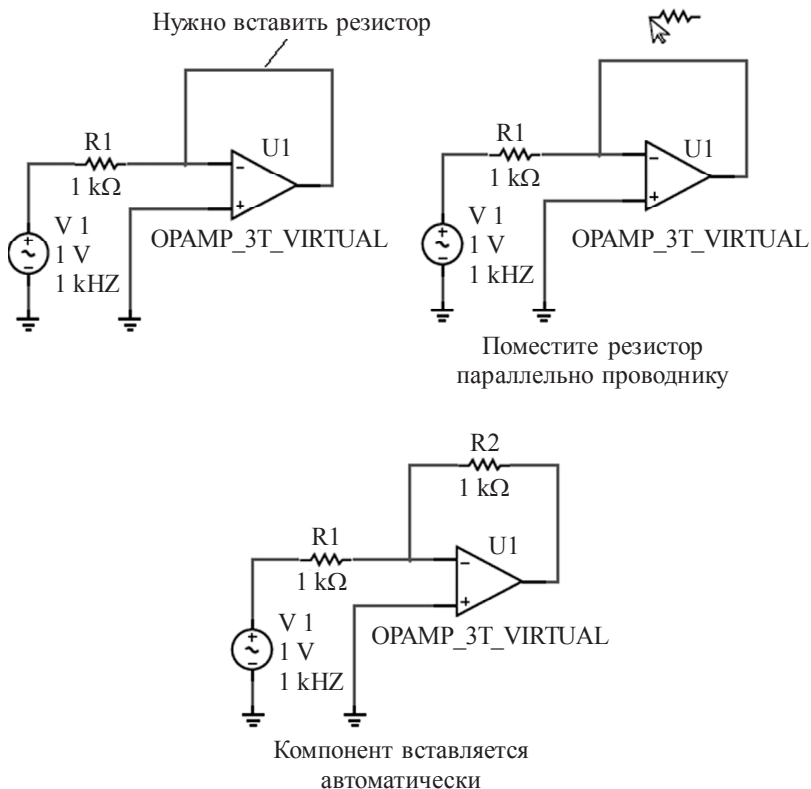


Рис. 19. Добавление компонента в авторазрыв схемы

6. Виртуальные приборы

Виртуальные приборы *Multisim* соответствуют реальным измерительным приборам. Для подключения в схеме виртуального прибора выберите его на панели Приборов (*Instruments*). Если дважды кликните на иконку прибора, то появится его лицевая панель. Выводы прибора соединяются с элементами схемы так же, как и другие компоненты.

Панель измерительных приборов (*Instruments*) содержит:

- цифровой мультиметр (*Multimeter*);
- функциональный генератор (*Function Generator*);

- измеритель активной мощности и коэффициента мощности (*Wattmeter*);
- осциллограф (*Oscilloscope*);
- измеритель АЧХ и ФЧХ (*Bode Plotter*);
- генератор слова (*Word Generator*);
- логический анализатор (*Logic Analyzer*);
- логический преобразователь (*Logic Converter*).

Панель контрольно-измерительных приборов можно сделать видимой или невидимой, если вызвать команду *View/Toolbars* и во всплывающем меню установить или нет флажок *Instruments*.

Рассмотрим мультиметр, генератор, осциллограф и измеритель АЧХ. Более подробная информация о каждом приборе имеется в руководстве пользователя *Multisim (User Guide)*.

Мультиметр (*Multimeter*) предназначен для измерения постоянных и переменных токов и напряжений, сопротивления или затухания между двумя узлами схемы. Внутреннее сопротивление амперметра равно нулю, а вольтметра – бесконечности. В то же время их можно изменять с помощью меню, открываемого кнопкой *Set* (рис. 20).



Рис. 20. Символ и лицевая панель мультиметра

Генератор сигналов (*Function Generator*) – идеальный источник напряжений, создающий пилообразные, прямоугольные импульсы и синусоидальное напряжение. Прибор позволяет изменять форму сигнала, частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянную составляющую напряжения. У генератора сигналов имеется три вывода: общий центральный соединяется с общим проводом,

левый и правый создают положительные и отрицательные потенциалы соответственно (рис. 21). Диапазон частот генератора: от нуля до сотен мегагерц.

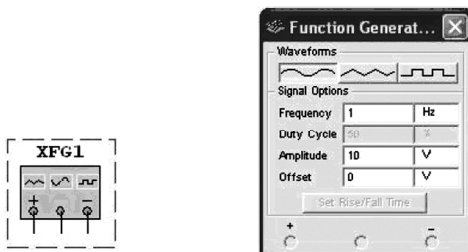


Рис. 21. Символ и лицевая панель генератора сигналов

Осциллограф (*Oscilloscope*) – прибор, предназначенный для измерения и наблюдения амплитудных и временных параметров электрического сигнала (рис. 22).

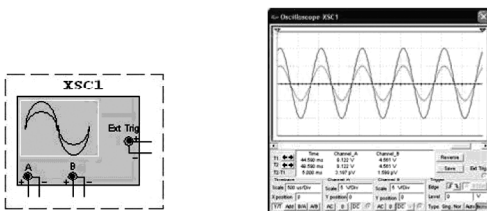


Рис. 22. Символ и лицевая панель осциллографа

В *Multisim* есть несколько модификаций осциллографов, которыми можно управлять как реальными. Осциллограф позволяет устанавливать параметры временной развертки и напряжения, выбирать тип и уровень синхронизации с исследуемым сигналом, измерять ряд параметров сигнала, такие как амплитуду напряжения, частоту, угол сдвига фаз.

Сигналы осциллографа можно просмотреть после моделирования с помощью самописца (*Grapher*) из меню Вид/Плоттер (*View/Grapher*).

В *Multisim* есть следующие осциллографы:

- 2-канальный;
- 4-канальный;
- универсальный осциллограф *Agilent 54622D*;
- 4-канальный цифровой осциллограф с записью *Tektronix TDS* 2024 (рис. 23).



Рис. 23. Символ и лицевая панель
4-канального осциллографа *Tektronix*

Измеритель амплитудо- и фазочастотных характеристик (*Bode Plotter*) предназначен для построения функциональных зависимостей от частоты относительного фазового сдвига или отношения амплитуд входного и выходного сигналов (рис. 24). Это особенно удобно при анализе свойств полосовых фильтров.

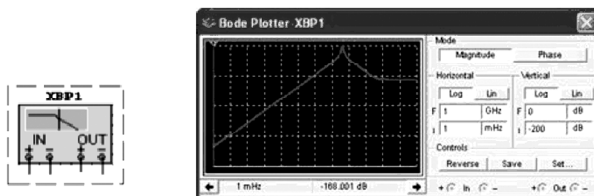


Рис. 24. Символ и лицевая панель *Bode Plotter*

7. Пример моделирования схемы

Для примера рассмотрим входные и выходные напряжения *RC*-цепи.

1. Соберем исследуемую схему (рис. 25) в среде *Multisim*.
2. Двойное нажатие левой кнопкой мыши на элемент позволяет изменить его электрические параметры (емкость конденсатора и сопротивление резистора).

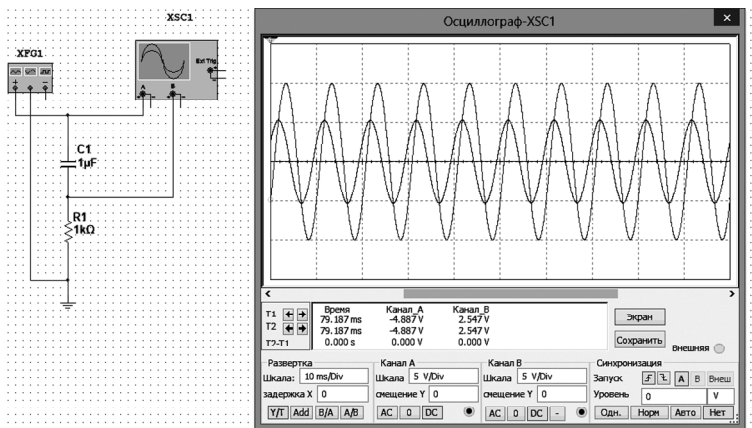


Рис. 25. Результат моделирования RC -цепи

3. Для того чтобы различать входные и выходные напряжения на экране осциллографа, удобно изменить цвета входных и выходных проводников. Осциллограммы на экране окрасятся в цвет проводов. Для изменения цвета провода выделяем его правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выбираем *Change Color*.

4. Устанавливаем параметры напряжения генератора, чувствительность каналов осциллографа, длительность развертки и уровень синхронизации осциллографа. Синхронизация осциллографа осуществляется сигналом, амплитуда которого не зависит от частоты.

5. Запускаем процесс моделирования двойным щелчком мыши на приборе и нажатием кнопки запуска на панели инструментов. Результаты моделирования оцениваем на экране прибора после нажатия кнопки «Стоп» на панели инструментов (см. рис. 25). В случае неудовлетворительного моделирования или размеров изображения на экране осциллографа повторяем процесс с новыми параметрами.

Учебное издание

Осадченко Валерий Харитонович
Волкова Яна Юрьевна
Кандрина Юлия Александровна

ФИЛЬТРЫ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ЧАСТОТ

Учебно-методическое пособие

Зав. редакцией *М. А. Овечкина*
Редактор *В. И. Попова*
Корректор *В. И. Попова*
Компьютерная верстка *Г. Б. Головиной*

План изданий 2015 г. Подписано в печать 18.11.2015.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 4,0. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 150 экз. Заказ 376.

Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: + (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс +7 (343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru

